

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування

Кафедра автоматизації, електротехнічних та  
комп'ютерно-інтегрованих технологій

**04-03-281**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання практичних робіт  
з навчальної дисципліни

#### **«Проектування систем автоматизації»**

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за  
освітньо-професійною програмою «Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології» спеціальності 151  
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано  
науково-методичною  
радою з якості ННІАКОТ  
Протокол № 9 від  
29 травня 2020 р.

Рівне – 2020

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Проектування систем автоматизації» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Наумчук О. М., Сидорчук Б. П. – Рівне : НУВГП, 2020. – 62 с.

Укладачі: Наумчук О. М., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій;  
Сидорчук Б. П., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Відповідальний за випуск: Древецький В. В., д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Керівник групи забезпечення спеціальності: Древецький В. В., д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

© О. М. Наумчук, Б. П. Сидорчук, 2020  
© НУВГП, 2020

## **Зміст**

Вступ.....	3
Практична робота №1. Розробка схеми комплексу технічних засобів.....	4
Практична робота №2. Вибір технічних засобів автоматизації.....	10
Практична робота №3. Вибір виконавчих механізмів та розрахунок регулюючих органів.....	31
Практична робота №4. Розрахунок схеми електроживлення та вибір апаратів управління і захисту.....	42
Практична робота №5. Розрахунок дії апаратів захисту при короткому замиканні.....	53

## **Вступ**

При проектуванні систем автоматизації необхідно виконувати різноманітні задачі спрямовані на вирішення питань розрахунку та оптимізації пристроїв, установок та систем. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Проектування систем автоматизації» містять необхідний матеріал для засвоєння студентами практичних навиків проектування сучасних систем автоматизації. Під час виконання практичних робіт студенти здобудуть досвід, який допоможе у ефективному проектуванні систем автоматизації різних галузей промисловості.

У практичних роботах розглянуто особливості розробки сучасних систем автоматизації, а також способи та методи розробки конструкторської документації у сучасному проектуванні.

## Практична робота №1

### Розробка схеми комплексу технічних засобів

**Мета:** Навчитися розробляти структурні схеми комплексів технічних засобів АСУТП.

#### Теоретичні відомості

Структурна схема комплексу технічних засобів (КТЗ) охоплює всі рівні АСУТП, крім нижнього (польового) рівня, який відображається схемою автоматизації. Однак, схема КТЗ не може розроблятися без урахування вхідних і вихідних сигналів «польового» рівня.

На структурній схемі КТЗ елементи комплексу технічних засобів і засобів автоматизації зображують у вигляді прямокутників з відповідними написами або із зазначенням в них умовних позначень. Пояснення цих позначень з вказівкою їх функцій здійснюється у таблиці, поміщеній на кресленні схеми. Зв'язки між елементами схеми зображуються лініями зі стрілками, що показують напрямок проходження сигналів.

Структурна схема комплексу технічних засобів розробляється *на основі схеми автоматизації* та вибраної загальної комплектації засобів управління. Сучасні автоматизовані системи управління є ієрархічними системами, що мають 2-3 і більше рівнів.

На *нижньому рівні* знаходяться, первинні перетворювачі, модулі віддаленого вводу-виводу, місцеві прилади та виконавчі механізми з регулюючими органами. *Середній рівень* складають програмовані логічні контролери. На *верхньому рівні* управління розташовуються промислові чи персональні комп'ютери та панелі оператора. Для зв'язку верхнього рівня із середнім використовується з'єднання «точка-точка» (PtP), або локальна промислова мережа. З'єднання «точка-точка» застосовуються в простих випадках, наприклад, для з'єднання одного програмованого контролера з комп'ютером. При використанні такого з'єднання необхідно узгодити відповідні порти в контролера і комп'ютера. Для цього служать блоки перетворення інтерфейсів (БПІ), які ще називають адаптерами.

Основним способом зв'язку в сучасних системах управління є організація локальних обчислювальних (промислових) мереж і

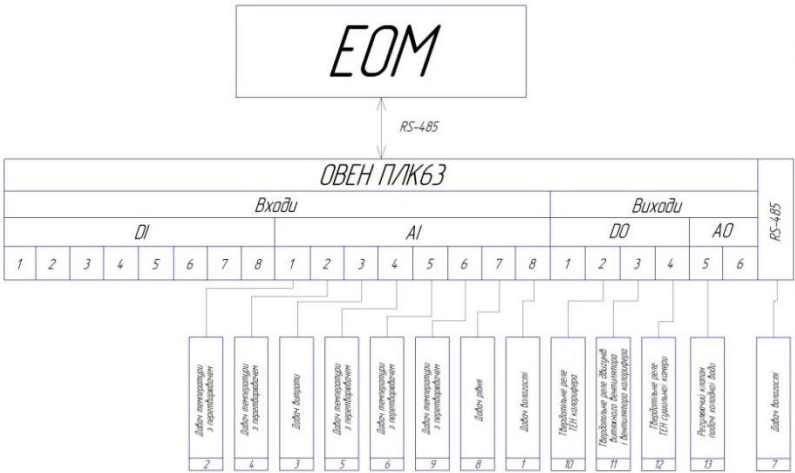
засобів управління. У системах управління використовуються промислові стандарти локальних обчислювальних мереж. Локальна мережа дозволяє об'єднати всі засоби управління і організувати багатосторонній обмін інформацією.

При проектуванні системи управління необхідно вибрати конкретний стандарт мережі і додаткове устаткування для її реалізації (мережеві адаптери, концентратори зв'язку, комунікаційні процесори тощо). Результат вибору оформляється у вигляді креслення структурної схеми комплексу технічних засобів.

Структурна схема комплексу технічних засобів повинна наочно відображати:

- ієрархію системи управління;
- зв'язки засобів управління з об'єктом управління;
- зв'язки засобів управління з оперативним персоналом;
- апаратний склад системи управління.

Приклад виконання структурної схеми комплексу технічних засобів технологічного процесу наведено на рис. 1.1, а, вона наочно відображає структуру КТЗ цілого технологічного процесу (рис. 1.1, б).



а

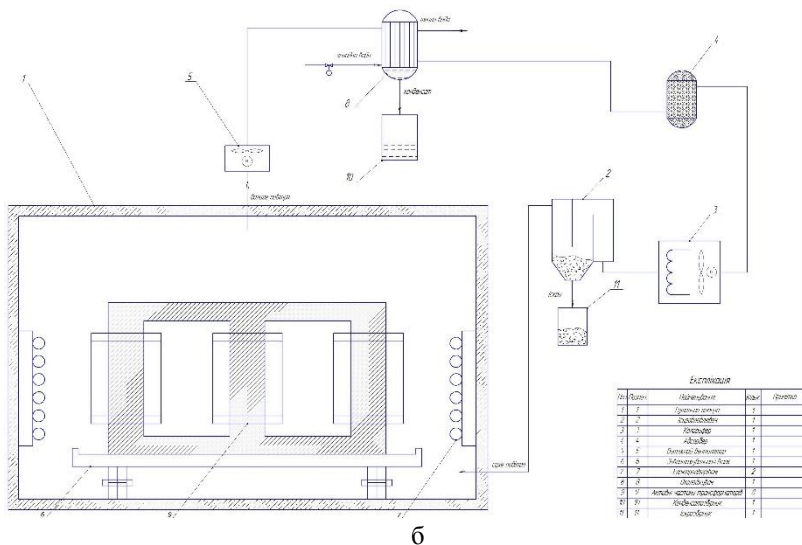


Рис. 1.1. Структурна схема комплексу технічних засобів (а) виконана на основі технологічної схеми (б)

Безпосереднє управління устаткуванням процесу здійснюється від програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК63 (рис. 1.1, а), який виконує функції дискретного і програмного управління.

На верхньому рівні управління використовується ЕОМ, що входить до складу автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора. ЕОМ виконує функції індикації і реєстрації параметрів процесу, а також операторського управління ТЗА та іншими засобами технологічного устаткування.

У нижній частині креслення прямокутниками вказані джерела і приймачі сигналів, встановлені на об'єкті управління. Для їх ідентифікації використовуються позиційні позначення схеми автоматизації. Окрім цього дається додатковий опис функцій датчиків і виконавчих механізмів.

Ще один приклад виконання структурної схеми комплексу технічних засобів зображена на рис. 1.2. Ця схема має дещо відмінне виконання від попередньої схеми (див. рис. 1.1) у ній використані зовнішні обрисі пристроїв, що входять до цілого

комплексу технічних засобів. Такий підхід дає більш наочне представлення структури КТЗ, але разом з тим, на відміну від попередньої схеми (див. рис. 1.1) прив'язує її виконання до більш конкретних пристроїв. До складу комплексу технічних засобів, що відображені на цій схемі входять: первинні перетворювачі, місцеві прилади та виконавчі механізми, дозуючий (ваговий) процесор, програмований логічний контролер, сервер, панель оператора, ПК підприємства.

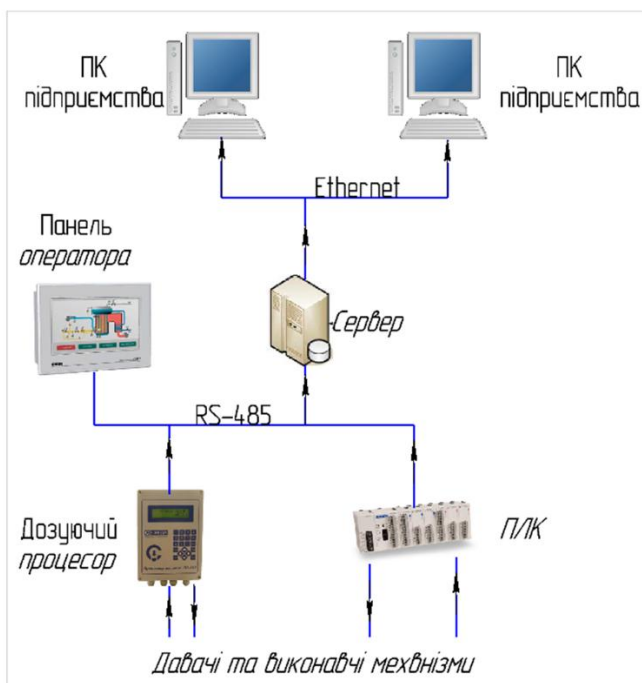


Рис. 1.2. Приклад виконання структурної схема комплексу технічних засобів

На нижньому (польовому) рівні знаходяться: первинні перетворювачі, місцеві прилади та виконавчі механізми з регулюючими органами. Середній рівень складають: програмований логічний контролер, ваговий процесор та сервер.

На верхньому рівні управління розташовуються промислові комп'ютери та панелі оператора.

Зв'язок між ПЛК, ваговим процесором, панеллю оператора та сервером здійснюється через інтерфейс RS-485, а зв'язок сервера та промислових ПК здійснюється через локальну мережу підприємства Ethernet.

Деколи у до структурної схеми комплексу технічних засобів додають назву та призначення всіх елементів схеми у вигляді специфікації. Для прикладу до структурної схеми (див. рис. 1.2) наведено назву та призначення технічних засобів розробленої схеми (табл. 1.1) без вказівки фірм виробника, що дасть змогу підібрати необхідне обладнання використовуючи пропонувані критерії.

Табл. 1.1

Перелік та призначення технічних засобів

Назва	Призначення
ПЛК Click	Вимірювання, регулювання та контроль параметрів технологічного процесу
Ваговий процесор	Вимірювання та регулювання процесу дозування муки.
Панель оператора	Графічне відображення та контроль технологічного процесу на АРМ оператора
Сервер	Перетворення протоколу RS-485 в Ethernet. Збереження даних
ПК підприємства	Відображення архівування даних процесу

Таким чином, розроблені схеми комплексу технічних засобів будуть у повній мірі відображати структуру використовуваних технічних засобів, що дасть змогу, ефективно реалізувати запроектовану систему автоматизації. Крім того, така схема допоможе ефективно налагоджувати, експлуатувати та при потребі виконувати необхідні ремонтні роботи.



### **Програма роботи**

1. Ознайомитися з принципами та правилами побудови схем КТЗ.
2. За схемою автоматизації та вибраним комплексом технічних засобів розробити структурну схему КТЗ.
3. Описати принцип роботи та склад структурної схеми КТЗ системи автоматизації.

### **Порядок виконання роботи**

1. За схемою автоматизації технологічного процесу вибрати архітектуру системи автоматизації.
2. Створити структурну схему КТЗ, відобразивши основні технічні засоби АСУТП та зв'язки між ними.
3. Розробити таблицю з переліком та призначенням технічних засобів у вигляді специфікації.
4. Результати проектування оформити у вигляді звіту на стандартних аркушах формату А4.

### **Контрольні запитання**

1. Що таке структурна схема КТЗ?
2. Як зображають технічні засоби на схемах КТЗ?
3. Вкажіть основні вимоги до оформлення схем автоматизації.
4. Яка ієрархія сучасних АСУТП?
5. Опишіть рівні структурних схем КТЗ?
6. Яке призначення специфікації КТЗ?

## Практична робота №2

### Тема: Вибір технічних засобів автоматизації

**Мета:** Навчитися виконувати обґрунтований вибір технічних засобів автоматизації для реалізації функцій автоматизованої системи управління.

### Теоретичні відомості

Основними програмно-технічними засобами автоматизації виробничих процесів є програмовані логічні контролери (ПЛК). Більшість ПЛК мають модульну структуру, тобто базовий варіант може доповнюватися модулями розширення аналогових і дискретних входів/виходів. При виборі блоків розширення слід звернути увагу на те, що деякі блоки вводу можуть безпосередньо працювати з давачами температури у вигляді термопар та термометрів опору. При цьому відпадає необхідність використання проміжних перетворювачів, що спрощує та підвищує надійність системи.

При виборі давачів перевагу слід надавати таким, які забезпечують вихідний струмовий сигнал 4-20 мА, при цьому віддаль між давачем і контролером може складати до 120 м. При виборі виконавчих механізмів слід орієнтуватися на такі, що мають власні мікропроцесорні засоби керування. В цьому випадку значно спрощується їх взаємодія з ПЛК.

Вибір технічних засобів автоматизації (ТЗА) здійснюють на основі каталогів та Інтернет-сайтів фірм-виробників та їх офіційних дилерів. Важливими факторами при виборі технічних засобів автоматизації є співвідношення продуктивність/ціна. На всі вибрані ТЗА складають специфікацію за формою, що приведена у табл. 2.1.

Табл. 2.1

#### Специфікація на ТЗА

№ з/п	Позиція на СА	Назва засобу та коротка технічна характеристика	Тип, марка	Кількість

Для оцінки вимог обчислювальних можливостей ПЛК за схемою автоматизації слід визначити загальну кількість функцій

управління, що потребують реалізації системою управління та враховувати їх складність. Вихідні вимоги для автоматизованої системи управління визначаються на основі функціональної схеми автоматизації. Перш за все, визначається потрібна кількість входів-виходів системи управління та їх характеристики. Для вирішення цього завдання доцільно скласти таблиці входних і вихідних сигналів, використовуючи функціональну схему автоматизації.

У специфікації на ТЗА вказуються всі інформаційні (вхідні) сигнали від датчиків і засобів вимірювань і всі керуючі (вихідні) сигнали від пристроїв керування. Сигнали слід розділити по виду (аналогові, дискретні), за типом (сигнали постійного струму, змінного струму), за рівнем (0 – 10 В, 24 В, 220 В, 0 - 20 мА і т.д.). На основі цих таблиць визначається потрібна кількість входів і виходів системи управління та вимоги до характеристик цих входів-виходів.

При визначенні кількості входів-виходів слід передбачати резерв для подальшого розширення системи управління і для корекції її функцій у випадку виявлення помилок у процесі впровадження системи.

**Вибір ПЛК.** Основні завдання оперативного управління в сучасній АСУ ТП вирішують ПЛК, тому їх вибір є найвідповідальнішим етапом проектування системи управління. Для формування вимог до обчислювальних можливостей ПЛК, за схемою автоматизації слід визначити загальну кількість функцій управління, які повинні реалізовуватись системою управління. Слід також враховувати складність цих функцій. Після оцінки основних вимог до найважливіших характеристик системи управління формулюються інші вимоги:

- умови експлуатації;
- точність;
- надійність, вартість та ін.

На основі сформульованих вимог здійснюється вибір засобів управління з використанням яких буде побудована система управління. При цьому, слід використовувати однотипні ПЛК і комп'ютери.

*Вибір ПЛК відбувається у такій послідовності:*

1. Вибір фірми-виробника.

2. Вибір моделі і комплектації ПЛК.
3. Вибір допоміжних засобів та засобів зв'язку з оперативним персоналом (засоби передачі і перетворення даних, панелі оператора та ін.).
4. Вибір пристроїв для верхнього рівня управління.
5. Визначення складу необхідного програмного забезпечення та джерел його постачання.

При виборі фірми-виробника слід керуватися такими міркуваннями:

- відповідність номенклатури засобів управління, що поставляються фірмою та їх технічних характеристик вимогам, що висуваються до проектованої системи управління;
- рівень сервісного обслуговування, пропонованого фірмою у регіоні (терміни гарантії; можливість заміни та ремонту засобів; супровід фірмою своєї продукції, наприклад, модернізація програмного забезпечення; можливість консультацій при виникненні труднощів при впровадженні системи і її налагодженні тощо);
- гарантована надійність засобів керування;
- простота модернізації і розширення системи управління, побудованої на засобах конкретної фірми;
- наявність програмного забезпечення для комп'ютерних засобів управління і можливості його модернізації;
- сформовані переваги у замовника системи управління і накопичений ним досвід експлуатації засобів управління.

Після вибору виробника по каталогах фірми здійснюється вибір моделей і комплектація ПЛК, а при необхідності і промислових комп'ютерів. ПЛК бувають трьох видів:

1. *Фіксовані*, які мають закінчену конфігурацію з визначеним і обмеженим числом входів-виходів (зазвичай не більше 30).
2. *Модульні з об'єднаними в єдиний блок модулями*, число і характеристики входів-виходів яких визначаються споживачем у процесі конфігурації контролера (число входів-виходів може перевищувати 1000).
3. *Модульні з розподіленим вводом-виводом*, що складаються з центрального блоку і окремих модулів вводу-виводу, встановлюваних по місцю.

Найбільш простими і дешевими є фіксовані ПЛК. Однак

можливості управління таких контролерів суттєво обмежені і застосовують їх для керування простими об'єктами. Найбільш дорогими є модульні ПЛК з розподіленим вводом-виводом. Застосування таких контролерів дозволяє оптимізувати інформаційні зв'язки в системі управління, скоротити витрати на лінії зв'язку і підвищити надійність системи управління.

**Вибір засобів зв'язку.** Структура системи управління розробляється на основі вибраної комплектації засобів управління. Сучасні АСУ ТП є ієрархічними системами, мають як мінімум два рівні. На нижньому рівні використовуються програмовані контролери та інші локальні засоби управління.

При розробці *нижнього рівня* управління вирішуються наступні завдання:

- зв'язування входів-виходів контролерів і локальних засобів управління з джерелами (датчики та вимірювальні пристрої) і приймачами (виконавчі механізми) інформації об'єкта управління;
- резервування засобів управління (при необхідності);
- визначення безпосередніх зв'язків між засобами управління нижнього рівня (при необхідності таких зв'язків).

На *верхньому рівні* управління використовуються промислові комп'ютери, персональні комп'ютери, панелі оператора. Для зв'язку верхнього рівня з нижнім використовується або з'єднання «точка-точка» (P&P), або локальна обчислювальна мережа (ЛОМ).

З'єднання «точка-точка» застосовуються в простих випадках, наприклад, для об'єднання одного ПЛК з комп'ютером. При використанні такого з'єднання необхідні відповідні порти у контролера і комп'ютера. Також необхідно визначити стандартний інтерфейс, використовуваний для зв'язку.

Основним способом зв'язку в сучасних системах управління є організація локальних обчислювальних мереж (ЛОМ) засобів управління. У системах управління використовуються промислові стандарти локальних обчислювальних мереж. ЛОМ дозволяє об'єднувати усі засоби управління і організувати багатосторонній обмін інформацією.

При проектуванні системи управління необхідно вибрати конкретний стандарт ЛОМ і додаткове обладнання для її



змінних (як правило, енергонезалежна), вбудований порт(и) для виходу в мережу, фіксоване число каналів аналогового і (або) дискретного вводу/виводу, вбудований ПІД-регулятор з автонастроюванням (необов'язково), слот розширення для підключення додаткових модулів, РК-дисплей (необов'язково), індикатори стану контролера та ін.

*Модульні ПЛК*, як правило, встановлюються на DIN-рейку, а з'єднання з іншими модулями, наприклад, з модулем живлення, модулем аналогового введення та ін., здійснюються за допомогою роз'ємів або провідників з наконечниками «під гвинт». Найбільш поширеними є такі контролери: Simatic S7-200 і Simatic S7-300C - Siemens (Німеччина), Modicon TSX - Schneider Electric (Франція), FX1S і FX1N - Mitsubishi Electric (Японія), Decont-182 - ДЕП (Росія).

Крім загальних характеристик всі ПЛК відрізняються набором вбудованих функцій, кількістю базових команд, способом програмування і т. п. Модульні контролери складаються з функціональних модулів, установлених у каркасі (шасі) або монтуються на DIN-рейку, тобто модульні контролери деструктуровані на окремі взаємопов'язані блоки. Дана архітектура дозволяє збільшити гнучкість, швидкість пуско-налагодження, ремонтпридатність контролера.

До функціональних модулів ПЛК відносяться мікропроцесорний модуль, модуль живлення, комунікаційні модулі і модулі вводу/виводу, а також спеціальні модулі. Найбільш поширеними є такі контролери: Ремиконт Р-130 - ПО «Промприлад» (Росія), ADAM-8000 - «Advantech» (Тайвань) та ін.

Крім спеціалізованих мікропроцесорних контролерів, традиційно використовуваних в АСУ ТП, все частіше стали застосовуються ПК-сумісні контролери. Повна програмна і апаратна сумісність цих пристроїв з широко розповсюдженими офісними комп'ютерами забезпечує істотне скорочення термінів та вартості робіт при створенні різних систем автоматизації виробництва. Необмежена номенклатура плат вводу/виводу, як аналогових так і дискретних, можливість гнучкої модернізації систем з використанням найсучаснішого системного і спеціалізованого програмного забезпечення, а також постійне

зниження цін на комп'ютерну техніку - ось основні визначальні чинники при виборі платформи АСУ ТП верхнього і нижнього рівнів.

ПК-сумісні контролери складають окремий клас ПЛК, значення і роль яких з розвитком Internet-технологій істотно зростає. Ці контролери характеризуються наявністю вбудованої операційної системи (Windows 9x/NT/CE, QNX, MS DOS, Linux, MiniOS7, OS-9 та ін.), використанням стандартних системних шин (PC-104, VME, AT96 тощо), можливістю використання стандартного програмного забезпечення (ISaGRAF, C, C++, Assembler), SCADA-систем (Trace Mode, InTouch, Citect та ін.), баз даних, комунікаційних стандартів, наявністю OPC-сервера та інших функцій.

Таким чином, ПК-сумісні контролери, можуть використовувати програмне забезпечення незалежних виробників, мають більший об'єм пам'яті ніж моноблочні і модульні контролери, можливості розширення і модернізації, а також краще діагностування. Однак, часто ці контролери мають надлишкові обчислювальні ресурси і функції, меншу надійність за рахунок великої кількості компонентів (додатків). Для більшості практичних застосувань вплив цих недоліків може бути усунутий або знижений.

Вибір необхідного контролера/ів обумовлений великою кількістю різнотипних факторів. Один визначних факторів це те для яких систем потрібно застосовувати контролер/и: чи для проектування нової системи, чи для модернізації існуючої. Крім того, береться до уваги наступність програмно-апаратних засобів, підготовка обслуговуючого персоналу і служби ремонту, наявність супровідної документації та її освоєння, запас комплектуючих, показники надійності (напрацювання на відмову, термін служби, ремонтпридатність тощо).

При виборі контролера основним завданням є найповніше задоволення технічних вимог на розробку автоматичної системи (вимоги до інформаційних, керуючих і допоміжних функцій, а також до технічного, програмного, метрологічного та організаційного забезпечення, до діагностики та технічного обслуговування системи та ін.).

*Основні технічні характеристики ПЛК:*



1. До найбільш важливих характеристик відносяться параметри процесорного модуля (тип і швидкодія процесора, обсяг пам'яті та ін.), наявність співпроцесора, час виконання логічної команди, наявність сторожового таймера (пристрій, що визначає момент зависання процесора і виконує автоматичне перезавантаження контролера), годинника реального часу, кількість вбудованих і нарощуваних входів/виходів (вводу/виводу, спеціальних, комунікаційних), наявність середовищ програмування контролера (зручність і простота програмування).

Також важливим показником ПЛК є можливість резервування модулів і плат, діагностика стану контролера та інші фактори (світлодіодна індикація каналів і режимів роботи, наявність панелі візуалізації і клавіатури, гальванічна ізоляція входів/виходів, ступінь захисту контролера та ін.).

2. Модульність структури контролера. Після розрахунку каналів вводу/виводу (аналогових і дискретних) слід зробити вибір типу контролера: моноблочний, модульний, ПК-сумісний. *Моноблочний* контролер має, як правило, невелику кількість вбудованих дискретних входів/виходів і від одного до чотирьох аналогових входів/виходів, може використовуватися автономно або з додатковими модулями вводу/виводу сигналів, з організацією обміну даними з контролером по внутрішньому інтерфейсу або через комунікаційний порт по мережі. При виборі *модульного* контролера забезпечується більша кількість каналів вводу/виводу, підвищується функціональна надійність контролера за рахунок функцій самодіагностики, спрощується обслуговування контролера, що дозволяє, у разі потреби, швидко заміну модулів (без виключення живлення) та ін. При виборі *ПК-сумісного* контролера значно підвищується багатофункціональність, зручність програмування, знижується його вартість. Однак при цьому можливе зниження надійності системи.

3. Відповідність міжнародним стандартам. Вибір контролера, відповідного Міжнародному стандарту якості ISO 9001, стандартам шинної архітектури (VME, PCI, CompactPCI, MicroPC, PC/104 і ін.), стандартним протоколам зв'язку промислових мереж (Profibus, Modbus, Interbus, CAN, Bitbus та

ін.), стандартам зв'язку з польовими приладами (HART-протокол, AS-інтерфейс, Fieldbus Foundation, RS-485 та ін.), стандартам на операційну систему реального часу (QNX, OS 9000, VxWorks та ін.), стандартам на програмне забезпечення (IEC 61131-3), стандартам на ступінь захисту корпусу (IEC 529), на габаритні розміри, на ударо- і віброміцність (IEC 68-2) та ін.

4. Зв'язок контролера з верхнім рівнем систем управління по інтерфейсу Ethernet. Інтерфейс Ethernet одержав широке поширення, як інтерфейс зв'язку засобів автоматизації від нижнього до верхнього рівнів системи управління. Цей інтерфейс забезпечує високу швидкість передачі даних, низьку вартість, підтримується переважною більшістю виробників програмного і апаратного забезпечення. Через мережу Ethernet сервери і операторські станції верхнього рівня управління підприємством отримують безпосередній доступ до даних параметрів технологічного процесу. При наявності SCADA-системи, встановленої на операторській станції, використовується клієнт-серверна архітектура зв'язку, при якій SCADA-клієнт отримує прямий доступ до даних процесу за допомогою OPC-сервера. Подальшим розвитком зв'язку контролерів з віддаленими операторськими станціями є використання мережі Internet і GSM-технології.

5. ПК-сумісні контролери з вбудованою SCADA-системою. Наявність у ПК-сумісного контролера вбудованої SCADA-системи (наприклад, Trace Mode, MasterSCADA та ін.) дозволяє значно прискорити процес налаштування проекту і підвищити ефективність подання інформації, знизити витрати на придбання SCADA-системи та комунікаційних інтерфейсів. До таких контролерів відносяться P-130 ТМ, ЛОМІКОНТ ТМ, Лагуна, Теконік та ін. При цьому, варто зауважити, що застосування ПК-сумісних контролерів виправдане лише при вирішенні невеликих завдань, відсутності особливих вимог до надійності системи або обмежених фінансових можливостях. При вирішенні завдань управління складними, відповідальними процесами, що характеризуються великою кількістю контрольованих і керованих величин та їх фізичним розподіленням у просторі, з підвищеними вимогами до надійності системи управління, слід віддавати перевагу

класичним модульним контролерам.

6. Наявність у контролера режиму автоналаштування параметрів регулятора. Для прискорення процесів введення в експлуатацію систем регулювання, особливо у випадку автоматизації складних об'єктів управління, вкрай важливою в структурі програмного забезпечення контролера є наявність режиму автоналаштування параметрів ПД-регулятора – коефіцієнта підсилення, сталої часу інтегрування, сталої часу диференціювання.

7. Показники надійності та економічні показники. До показників надійності відносяться час напрацювання на відмову (бажано 100 тис. годин і більше), термін служби (10 років і більше), ремонтпридатність (можливість легкої заміни модулів, блоків) та ін. Підвищення надійності і точності досягається за рахунок засобів діагностики, прогнозування відмов, режимів безударного перемикавання, «гарячого» резервування, гальванічної розв'язки, дублювання апаратних засобів, рестарту програмного забезпечення та іншими методами.

Зниження вартості контролера, досягаються за рахунок зниження витрат на кабельну продукцію (особливо у випадку бездротового зв'язку), відсутність засобів іскрозахисту, використання інтелектуальних датчиків і блоків вводу/виводу.

**Методика вибору первинних вимірювальних перетворювачів.** При виборі первинних вимірювальних перетворювачів варто враховувати фактори метрологічного та технологічного характеру, найбільш суттєвими з яких є:

- допустима похибка вимірювальних пристроїв і вимірювальної системи;
- межа вимірювання первинного вимірювального перетворювача, в якому гарантована необхідна точність вимірювання;
- інерційність первинного вимірювального перетворювача, яка характеризується сталою часу;
- вплив на роботу первинного вимірювального перетворювача параметрів оточуючого та навколишнього середовищ (температури, тиску, вологості);
- руйнуючий вплив на первинний вимірювальний перетворювач оточуючого і навколишнього середовищ внаслідок абразивних

властивостей, хімічного впливу та інших факторів;

- наявність у місці установки первинного вимірювального перетворювача неприпустимих для його функціонування магнітних і електричних полів, вібрацій та ін.;
- можливість застосування первинного вимірювального перетворювача з точки зору вимог пожежо- і вибухобезпеки;
- відстань, на яку має бути передана інформація, отримана за допомогою первинного вимірювального перетворювача;
- граничні значення вимірюваної величини та інших параметрів, що впливають на роботу первинного вимірювального перетворювача.

*Вибір первинних вимірювальних перетворювачів здійснюють у два етапи.* На першому етапі вибирають різновиди первинних вимірювальних перетворювачів, наприклад, для вимірювання температури підходить термоперетворювач опору або термоелектричний перетворювач.

На другому етапі визначають типорозмір (сукупність технічних характеристик) обраного різновиду первинного вимірювального перетворювача. Наприклад, термоперетворювач опору платиновий з номінальною статичною характеристикою (НСХ) 100П (Pt 100), тип термоперетворювача - ТСП-0193. Інформація про області і умови застосування первинних вимірювальних перетворювачів найбільш повно наведено в інструкціях з експлуатації заводів-виробників.

*Приклади вибору первинних вимірювальних перетворювачів.*

*ПВП температури.* У процесі вибору первинних вимірювальних перетворювачів температури необхідно враховувати граничні значення температур у діапазоні яких можна застосовувати різні первинні вимірювальні перетворювачі температури, а також характеристики вихідного сигналу первинних вимірювальних перетворювачів. Названі параметри значною мірою визначають вибір того чи іншого первинного вимірювального перетворювача температури.

В якості первинних перетворювачів температури найчастіше використовуються термоперетворювачі опору (ТПС) і термоелектричні перетворювачі (ТЕП). Термоперетворювачі випускаються двох видів: занурювані і поверхневі.

Для правильного вибору термоперетворювачів необхідно знати параметри вимірюваного середовища, такі як діапазон зміни температури або максимальне значення температури, тиск, розміри трубопроводу, газоходу, повітроводу, технологічного апарату і т. п.

При виборі типу занурюваних термоперетворювачів необхідно звернути увагу на наступні фактори: область застосування, межі вимірювань, клас допуску, монтажну довжину, особливість конструкції, умовний тиск, інерційність, тощо. Межі виміру конкретних типорозмірів термоперетворювачів вказані в довідковій літературі і каталогах заводів-виготовлювачів.

Технічні термоперетворювачі опору мають класи допуску А, В і С. При класі допуску А межа основної допустимої похибки має мінімальне значення, а при класі допуску С - максимальне значення. Технічні термоелектричні перетворювачі мають класи допуску 1, 2 і 3. При класі допуску 1 межа основної допустимої похибки має мінімальне значення, а при класі допуску 3 - максимальне значення.

У діапазоні вимірювань  $-50...+200\text{ }^{\circ}\text{C}$  слід застосовувати мідні термоперетворювачі опору. При вимірюванні більш високих температур застосовують платинові ТПС і ТЕП різних градусувань. Платинові термоперетворювачі опору слід застосовувати при необхідності забезпечення підвищеної точності в діапазоні вимірювань температури  $-50...+500\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В інших випадках слід застосовувати термоелектричні перетворювачі. Для вимірювання температури поверхонь теплоенергетичного обладнання в конкретній точці, наприклад температури вкладишів підшипників і т. п., застосовують *поверхневі* ТПС або ТЕП.

Для занурюваних термоперетворювачів опору і термоелектричних перетворювачів визначають монтажну довжину. Наближено монтажну довжину термоперетворювачів, що встановлюються на трубопроводах, визначають за формулою:  $L=h+S+0,5D$ , де,  $L$  - монтажна довжина термоперетворювача;  $h$  - висота бобишки ( $h = 50\text{ мм}$ );  $S$  - товщина стінки трубопроводу;  $D$  - внутрішній діаметр трубопроводу. За отриманого в результаті розрахунку значенню

Л вибирають монтажну довжину термоперетворювача з ряду значень: 120, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000 мм.

При цьому необхідно враховувати, що робочий кінець ТЕП повинен бути занурений до центру трубопроводу, а ТПС - на 10...20 мм нижче осьової лінії трубопроводу, так як термоперетворювачі ТПС і ТЕП мають різні конструкції чутливих елементів. Монтажну довжину термоперетворювачів для вимірювання температури повітря рекомендується вибирати рівною 500 мм, а для вимірювання температури димових газів – 800 мм.

Захисні чохла первинних вимірювальних перетворювачів температури розраховані на робочі тиски, що не перевищують 6,4 МПа. У трубопроводах теплоенергетичних об'єктів тиск найчастіше перевищує цю величину. Тому первинні вимірювальні перетворювачі температури необхідно встановлювати в захисні гільзи.

*ПВП тиску.* Розрізняють вимірювальні перетворювачі для вимірювання надлишкового тиску в межах від 0 до 100 МПа, напору – до 40 кПа, розріджень – до 40 кПа і вакууму – до 0,1 МПа, а також різниці (перепадів) тисків – до 16 МПа. Крім цих основних технічних характеристик, при виборі вимірювальних перетворювачів тиску необхідно враховувати:

- характер зміни вимірюваного тиску в часі (тиск не змінюється, змінюється плавно, є пульсуючим);
- вплив середовища, тиск якого вимірюється, на матеріал чутливого елемента вимірювального перетворювача;
- граничний робочий тиск (для давачів перепаду тиску).

Межі вимірювань вимірювальних перетворювачів тиску вибирають з ряду значень, наведених в каталогах заводів-виготовлювачів засобів автоматизації і довідниках.

Вимірювальний перетворювач тиску повинен мати такий діапазон вимірювань, щоб вимірюваний тиск знаходився в межах  $1/2 \dots 3/4$  цього діапазону, а пульсуючий тиск – в межах  $1/3 \dots 2/3$  діапазону вимірювань. Наприклад, для вимірювання розрідження, яке змінюється в межах -35...65 кПа, при використанні вимірювального приладу з вхідним сигналом 0...5 мА вибирають вимірювальний перетворювач тиску з вихідним

сигналом 0...5 мА типу Сапфир-22ДВ, межі вимірювання якого складають 100...0 кПа. В якості первинних вимірювальних перетворювачів тиску широко використовують перетворювачі типів МЭД з диференційно-трансформаторною системою передачі, МПЭ з компенсацією магнітних потоків, Сапфир-22ДИ і Метран-43ДИ з уніфікованим вихідним струмовим сигналом 0...5 мА, 0...20 мА і 4...20 мА.

*ПВП витрати.* Вимірювання витрат рідин, газів і пари в основному здійснюється витратомірами змінного перепаду тиску. До складу цих витратомірів входять первинні вимірювальні перетворювачі, проміжні перетворювачі, функціональні перетворювачі і вимірювальні прилади.

В якості первинних вимірювальних перетворювачів використовують стандартні звужуючі пристрої. Звужуючі пристрої (ЗП) призначені для створення перепаду тиску, по величині якого визначають витрату різних робочих середовищ. До стандартних звужуючих пристроїв відносяться діафрагми, сопла, сопла і трубки Вентурі, які встановлюють на трубопроводах діаметром 50...1000 мм при надлишковому тиску вимірюваного середовища, що не перевищує 40 МПа. Якщо надлишковий тиск вимірюваного середовища більший 10 МПа, то застосовують сопла. Звужуючі пристрої при надлишковому тиску вимірюваного середовища, що не перевищує 10 МПа, кріпляться у фланцях, а понад 10 МПа – вварюють у трубопровід.

Діафрагми мають просту конструкцію, однак сопла дозволяють вимірювати великі витрати і в ряді випадків забезпечують більш високу точність, ніж діафрагми при одних і тих же значеннях перепаду тиску. Крім того, для установки сопел потрібні більш короткі прямі ділянки трубопроводів.

Звужуючі пристрої виготовляються з нержавіючих сталей. Зварні діафрагми і сопла випускаються, як правило, на заводах-виробниках технологічного обладнання і поставляються спільно з устаткуванням.

Для ліквідації гідростатичної похибки, забезпечення рівності густини рідини і захисту пружних чутливих елементів проміжних перетворювачів (диференціальних манометрів) від механічних і хімічних впливів вимірюваного середовища між

звужуючим пристроєм і проміжними перетворювачами в безпосередній близькості до ЗП монтують різні спеціальні посудини. При вимірюванні витрати пари застосовують конденсаційні посудини, агресивних середовищ (мазут, природний газ, кислота і т. п.) – роздільні посудини, а гарячої води з температурою понад 120 °С – зрівнюючі посудини. Вибір відповідних посудин здійснюється за умовним тиском  $P_y$ , на який вони розраховані.

Проміжні перетворювачі витрати призначені для перетворення перепаду тиску в електричний сигнал. В якості проміжних вимірювальних перетворювачів витрати широко використовують перетворювачі типів ДМ з уніфікованим вихідним сигналом взаємної індуктивності 0...10 мГн, Сапфир-22ДД і Метран-43ДД з уніфікованими струмовими сигналами 0...5 мА, 0...20 мА і 4...20 мА.

#### ***Методика вибору контрольно-вимірювальних приладів.***

Контрольно-вимірювальні прилади (КВП) призначені для перетворення контрольованих параметрів та подання інформації про їх величину операторові. КВП можуть включати пристрої, що дозволяють вводити інформацію в ЕОМ та інші технічні засоби автоматизації, здійснювати безпосереднє управління технологічними процесами.

КВП мають ряд додаткових пристроїв в залежності від модифікації, наприклад, реостатні пристрої для роботи з програмними регуляторами, мікроперемикачі для позиційного регулювання або сигналізації граничних значень вимірюваних параметрів і т. д.

КВП для виведення кількісної інформації поділяються на:

- за способом представлення інформації – аналогові, цифрові;
- за виконуваними функціями – показуючі, реєструючі;
- кількістю контрольованих точок – одноточкові, багатоточкові (триточкові, шеститочкові, дванадцятиточкові);
- за кількістю вимірювальних каналів – одноканальні, багатоканальні (двоканальні, триканальні та ін.);
- з використанням додаткових пристроїв – сигналізуючі, регулюючі;
- за виглядом шкали – плоскі, опуклі, прямокутні;
- за вигляду покажчика - стрілкові, світлові, цифрові;



- за розташуванням шкали – з вертикально розташованою шкалою, з горизонтально розташованою шкалою.

Для вимірювання температури, тиску і витрати найчастіше застосовують аналогові показуючі, реєструючі і сигналізуючі вимірювальні прилади. Вони мають вбудовані перетворювачі з уніфікованими вихідними струмовими сигналами, з виходів яких інформацію про вимірювану величину можна передати на ЕОМ та інші засоби автоматизації. Діапазони вимірювань приладів визначені держстандартами.

Наприклад, для вимірювання температури перегрітої пари 565 °С, необхідно вибрати діапазон вимірювань 0...600 °С або 200...600 °С. А для вимірювання витрати перегрітої пари 230 т/год. витратоміром змінного перепаду тиску, верхня межа вимірювання дорівнює 250 т/год.

Вибір вимірювальних приладів відбувається у два етапи. На першому етапі, на основі сукупності класифікаційних ознак, що відповідають поставленим вимогам, вибирають серію вимірювальних приладів. Наприклад, для вимірювання температури за допомогою ТПС і ТЕП, враховуючи, що необхідна аналогова реєстрація величин вимірюваних температур, сигналізація граничних значень контрольованих температур, вибирають серію вимірювальних приладів А100-Н.

На другому етапі вибирають конкретну модифікацію вимірювального приладу в серії, що має весь набір необхідних функцій. Наприклад, для розглянутого вище випадку (первинний вимірювальний перетворювач – термоперетворювач опору) вибирають вимірювальний прилад серії А100-Н, модифікація 221.

При виборі технічних засобів автоматизації слід використовувати довідкову літературу та заводські каталоги продукції, що випускається.

***Приклади вибору технічних засобів автоматизації типових ТП. Приклад 1. Автоматизація системи вентиляції і кондиціонування повітря.*** Проаналізувавши структурну схему комплексу технічних засобів, існуючі типові схеми автоматизації та вимоги технологічного регламенту, а також визначивши контури вимірювання, сигналізації, захисту, блокування та регулювання розробляємо проект схеми

автоматизації, яка є результатом комплексного підходу до автоматизації технологічних процесів. У результаті проектування отримуємо схему автоматизації (рис. 2.2), що виконана з дотриманням ГОСТ 21.408-2013.

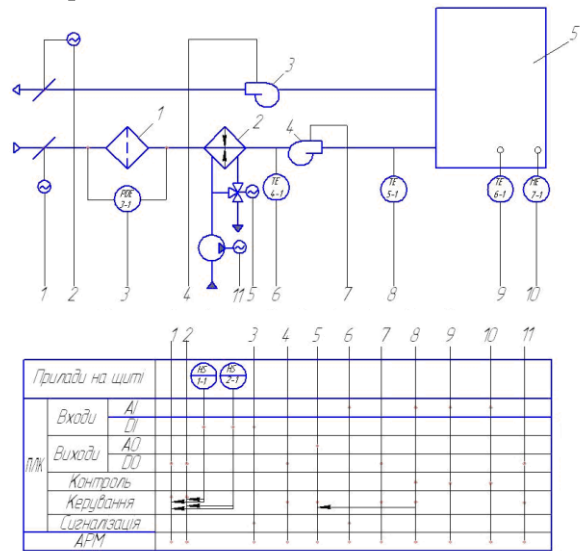


Рис. 2.2. Схема автоматизації системи вентиляції:  
1 – фільтр, 2 – калорифер, 3 – витяжний вентилятор, 4 – приточний вентилятор, 5 – приміщення

Розроблена схема автоматизації забезпечить зменшення кількості небезпечних та надзвичайних ситуацій, часу планових та позапланових ремонтів, призведе до покращення умов праці персоналу за рахунок зменшення перебування людей в зонах посиленої дії шкідливих факторів.

Головним параметром в даній системі (див. рис. 2.2) є температура на вході в приміщення поз. 8, яка керується зміною надходження теплоносія у калорифер поз. 5 за допомогою триходового клапана та відкривання повітряних заслінок поз.1 та поз. 2. Поз. 3 – це контроль забрудненості фільтра, яка визначається падінням тиску на ньому, що вимірюється диференціальним датчиком тиску, який вимірює різницю тисків повітря до і після фільтра. На поз. 4 – здійснюється програмне

керування витяжним вентилятором за допомогою програми, яка задана у контролері. На поз. 6 здійснюється вимірювання температури, а на поз. 7 програмне керування приточним вентилятором. Давачі температури ТЕ (4-1) та ТЕ (5-1) налаштовуються за допомогою 2 – х універсальних аналогових входів контролера. На поз. 9 та 10 контролюємо температуру та вологість у приміщенні.

У результаті аналізу системи автоматизації для реалізації функцій автоматизованої системи управління виконуємо остаточний вибір технічних засобів автоматизації результати, якого представлені у вигляді специфікації (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Специфікація на технічні засоби автоматизації

№ п/п	Позиція на ФСА	Назва	Назва засобу та коротка технічна характеристика	Тип	К-сть
1	ТЕ 6-1	Температура	Робочий діапазон вимірюваних температур: -40...+120°C. Напруга живлення постійного струму: 5...24 В	ДВТР-001, НІПФ «РегМик»	1 шт.
2	МЕ 7-1	Вологість	Діапазон вимірювання відносної вологості: 0...100%. Напруга живлення постійного струму: 5... 24 В		
3	ТЕ 4-1 5-1	Температура	Діапазон вимірюваних температур: 0...+50°C. Номінальна статична характеристика (НСХ): 100М, Діапазон умовних тисків: 0,3МПа	ТСМ – 0101, ПП «Експорт-постач»	2 шт.
4	PDE 3-1	Перепад тиску	Діапазон тиску: 50...500Па, Температура корпусу: -30...+85 °С. Допустима вологість повітря: <90% відносної вологості	DS 205 B, ТОВ «Енерго-мелікс»	1 шт.
5			Програмований логічний контролер	МІК – 51	1 шт.

Приклад 2. Автоматизації процесу системи очищення

стічних вод (рис. 2.3) реалізуються за допомогою технічних засобів, що включають: відбірні пристрої, засоби отримання первинної інформації, засоби перетворення і переробки інформації, засоби представлення і видачі інформації обслуговуючому персоналу, комбіновані комплектні та допоміжні пристрої.

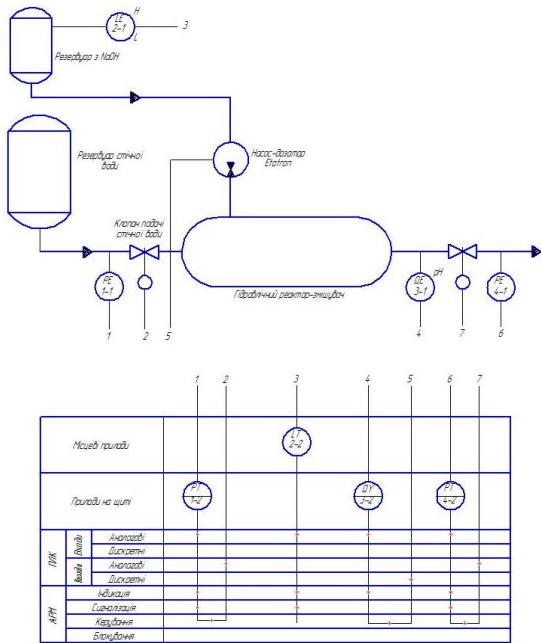


Рис. 2.3. Схема автоматизації системи очищення стічних вод з використання гідравлічного реактора-змішувача

Вибір технічних засобів автоматизації для реалізації функцій автоматизованої системи управління. В системі автоматизації передбачено три контури автоматичного регулювання величини рН шляхом автоматизації дозування їдкого натрію та контур контролю витрати і провідності очищеної води.

Задавачами величини рН служать промислові електроди IELT014 фірми Etatron у виконанні для агресивних середовищ. Первинна обробка та реєстрація сигналів від датчиків

здійснюється мікропроцесорними трансмітерами 1ST 059 цієї ж фірми. Уніфіковані струмові сигнали 4 – 20 mA, надходять на модуль аналогових входів, розміщений на шасі ПЛК. Основні технічні характеристики електродів pH марки 1ELT014:

1. Діапазон вимірювань від 1 до 14 од. pH;
2. Температура середовища, що аналізується 0 - 100 °C;
3. Тиск середовища до 0,3 МПа;
4. Температура навколишнього повітря від 5 °C до 50 °C;
5. Електричний опір допоміжного електроду при 20 °C – не більше 20 кОм.

Основні характеристики трансмітера pH марки 1ST 059:

1. Наявність LCD дисплея;
2. Діапазон вимірювання 0 – 14 pH;
3. Температурна компенсація 0 – 100 °C;
4. Вихід 4 – 20 mA.

Функції регулюючого органу для дозування їдкого натрію в змішувачах-реакторах концентрованих стоків виконує насос-дозатор фірми Etatron. Для контролю за якістю очищеної води після іонообмінних фільтрів використовується величина електропровідності не більше 20 мкСм/см. Для контролю за електропровідністю використовується кондуктометр CD/B 1ST 097 фірми Etatron та давачі 1STE 039 K5 з полівінілхлориду. Пристрій САУ-М6 призначений для автоматизації технологічних процесів, пов'язаних з контролем і регулюванням рівня рідини. Технічні характеристики приладу САУ-М6:

1. Номінальна напруга живлення приладу - 220 В;
2. Допустимі відхилення напруги живлення від номінального значення -15...+10%;
3. Споживана потужність не більше 6 ВА;
4. Кількість каналів контролю рівня – 3;
5. Напруга на електродах датчика рівня не більше 10 В;
6. Опір рідини для спрацьовування каналу контролю не більше 500 кОм;
7. Габаритні розміри корпусу 130x105x65 мм;
8. Ступінь захисту корпусу IP44.

### **Програма роботи.**

1. Виконати аналіз розробленої структурної та функціональної

схем автоматизації.

2. Виконати вибір ТЗА та КВП у відповідності до схеми автоматизації:

а) вибрати ПЛК за послідовністю та методикою, яка приведена у теоретичних відомостях;

б) вибрати первинні вимірювальні перетворювачі спираючись на *Методику вибору первинних вимірювальних перетворювачів*, яка приведена у теоретичних відомостях;

в) вибрати контрольно-вимірювальні приладів спираючись на *Методику вибору контрольно-вимірювальних приладів*, яка приведена у теоретичних відомостях.

3. Виконати обґрунтування та остаточний вибір ТЗА та КВП використовуючи приклади, які приведені у теоретичних відомостях з каталогів та інтернет ресурсів виробників.

4. Результати проектування оформити у вигляді звіту на стандартних аркушах формату А4.

### **Контрольні запитання**

1. Які особливості вибору ПЛК?

2. Які особливості вибору засобів зв'язку?

3. Опишіть методику вибору контролерного обладнання.

4. Опишіть методику вибору первинних вимірювальних перетворювачів.

5. Розкрийте суть прикладу вибору первинних вимірювальних перетворювачів.

6. Опишіть методику вибору контрольно-вимірювальних приладів.

7. Розкрийте суть прикладу вибору технічних засобів автоматизації у системі вентиляції і кондиціонування повітря.

8. Розкрийте суть прикладу вибору технічних засобів автоматизації у системі очищення стічних вод.

## **Практична робота №3**

### **Тема: Вибір виконавчих механізмів та розрахунок регулюючих органів**

**Мета:** Навчитися виконувати вибір виконавчих механізмів та розрахунок регулюючих органів, які використовуються у системах автоматизації технологічних процесів.

### **Теоретичні відомості**

*Виконавчим механізмом* (ВМ) називається пристрій, який реалізує керуючий (регулюючий) вплив на об'єкт, що формується регулятором (ПЛК) шляхом механічного переміщення регулюючого органу (РО). Виконавчі механізми складаються із двох функціональних вузлів: регулюючого (приводу), який здійснює керування виконавчим механізмом відповідно до інформації отриманої від регулятора; виконуючого (регулюючого органу), що впливає на процес регулювання шляхом зміни пропускної здатності комунікаційного елементу. У сучасних системах автоматизації використовуються ВМ різного принципу дії та конструктивного виконання. ВМ залежно від використовуваної енергії поділяються на: електричні; пневматичні; гідравлічні; електропневматичні; електрогідравлічні; пневмогідравлічні та ін. У сучасних технологічних процесах у якості виконавчих механізмів іноді використовуються: засувки, шибери, скидні клапани, реостати, насоси, компресори, транспортерні механізми, шнекові, пластинчасті та дискові живильники, позиціонери та ін.

*Процес вибору* виконавчих механізмів та регулюючих органів ґрунтується на задоволенні таких вимог: відповідність принципу дії, конструкції і задачі автоматизації; відповідність категорії виробничого приміщення; відповідність властивостям і значенням регульовального середовища; забезпечення необхідної надійності роботи і технічного ресурсу; безвідмовна робота в навколишньому середовищі у місці установки; забезпечення необхідної швидкості регулювання та ін.

*Методика вибору* виконавчих механізмів та регулюючих органів полягає в наступному. Спочатку вибирають алгоритм та вид дії ВМ. Найбільш поширеними є чотири алгоритми

автоматичного регулювання: аналогові, пропорційно-інтегральні (ПІ), пропорційно-інтегральні-диференціальні (ПІД), імпульсні (або дискретні) ПІ та ПІД. ПІД алгоритми застосовуються у процесах, які мають великі перехідні запізнення, а у інших випадках застосовують ПІ-алгоритми. Щодо виду регулюючого впливу, то їх вибір залежить від типу ВМ. При виборі ВМ варто урахувати, що пневматичні ВМ є простішими у порівнянні з електродвигунними, мають змінну швидкість переміщення РО та меншу вартість, але для їх використання потрібні додаткові джерела живлення та системи перетворення сигналів.

Після вибору типу ВМ потрібно визначити апаратний принцип реалізації управляючого впливу на ВМ. У більшості випадків застосовують: автономні засоби (станції та блоки місцевого, або дистанційного управління ВМ); керування за допомогою фіксованих ПЛК (на пряму або через перетворювач); керування за допомогою модульних ПЛК та ПК.

*Регулюючий орган* являє собою змінний опір, який реалізується у вигляді шибера, клапана, поворотної заслінки тощо. У таких пристроях зміна опору до потоку речовини  $\Delta P_{po}$  і пропускної здатності  $k_v$  відбувається за рахунок зміни прохідного перетину в залежності від лінійного  $h$ , або кутового ходу  $\alpha$  рухомої частини затвора (клапана, плунжера, заслінки тощо).

*Пропускна здатність*  $k_v$  (м<sup>3</sup>/год) регулюючого органу відповідає витраті води через нього під дією різниці тисків (0,1 МПа). При максимальному ході (умовному ході) штока  $h_s$  (або  $\alpha_s$ ) величина  $k_v$  є максимальною і носить назву *умовної пропускної здатності* -  $k_{vs}$ . У безрозмірному вигляді *відносна пропускна здатність* -  $k_v/k_{vs}$ . Якщо її визначають у залежності від ступеня відкриття  $h/h_s$  (або  $\alpha/\alpha_s$ ), то вона називається *пропускною характеристикою РО*.

Основною регулювальною характеристикою РО є форма пропускної характеристики, яка в основному, залежить від конструкції РО. Форма пропускної характеристики РО може бути лінійною, рівновідсотковою та нелінійною.

У багатьох технологічних процесах застосовуються різні конструкції РО. На рис. 3.1 показані схеми найбільш поширених типів РО для рідинного регулювального середовища. Для



сипучого та іншого типу регулювального середовища необхідно використовувати інші типи РО. Поворотні заслінки і кульові РО мають нелінійну пропускну характеристику в діапазоні кута повороту  $0 < \alpha < 60^\circ$ . У діапазоні кута повороту від  $60^\circ$  до повного відкриття  $90^\circ$  вони, як правило, не здійснюють суттєвого регулюючого впливу. Тому при налаштуванні виконавчого механізму необхідно узгодити повний хід виконавчого механізму з робочим ходом РО.

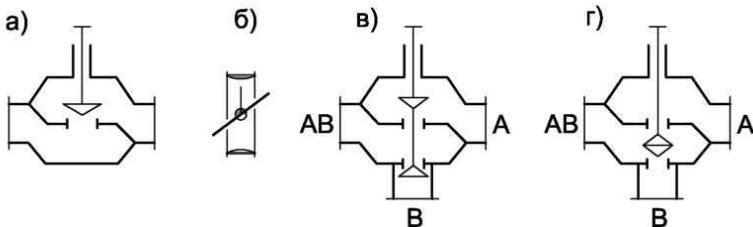


Рис. 3.1. Типи регулюючих органів: а) двоходовий (прохідний) сідловий; б) поворотна заслінка; в), г) триходовий РО

Рівновідсоткова характеристика найбільш універсальна, тому що в умовах розгалуженої трубопровідної мережі і змінного перепаду тиску забезпечує практично лінійну витратну характеристику регулюючого органу при значно нижчому розрахунковому значенні  $P_{PO}$  ніж при лінійній пропускну характеристиці.

В РО зміна опору відбувається за рахунок зміни прохідного перетину, тобто шляхом дроселювання регульованого середовища з метою зміни його витрати на регульованій ділянці. Регульованою ділянкою є та частина трубопроводу на яку впливає РО. Перепад тиску на регульованій ділянці  $\Delta P_{PD}$  ( $\Delta P_{PY}$ ) зберігається постійним у процесі регулювання і витрачається на подолання опору споживача  $\Delta P_{спож.}$  і на опір регулюючого органу  $\Delta P_{PO}$ .

Гідравлічний розрахунок регульованої ділянки виконується на розрахункову витрату рідини  $G_{max}$  при повному відкритті РО, опір якого становить  $(\Delta P_{PO})_{min}$ . Регульовану ділянку характеризують авторитетом клапана  $a_v$  або модулем  $n_v$ .

Значення  $a_v$  і  $n_v$ , а також співвідношення між ними обчислюються за формулами:

$$n_v = \frac{\Delta P_{\text{спож.}}}{(\Delta P_{\text{РО}})_{\min}}; a_v = \frac{(\Delta P_{\text{РО}})_{\min}}{(\Delta P_{\text{РО}})_{\min} + \Delta P_{\text{спож.}}}; a_v = \frac{1}{1+n_v}; n_v = \frac{1}{a_v} - 1.$$

Однією з основних регулювальних характеристик є форма витратної характеристики РО при різних значеннях авторитету клапана  $a_v$  (або модуля  $n_v$ ). Для забезпечення надійної роботи системи автоматичного регулювання (САР) в межах усього діапазону робочого ходу штоку РО необхідно, щоб форма витратної характеристики РО була лінійною або близькою до лінійної.

На рис.3.2 і 3.3 наведені витратні характеристики РО, розрахунок яких виконують при різних значеннях  $a_v$  і  $n_v$  для РО з лінійною і рівновідсотковою пропускними характеристиками, а на рис. 3.4 та 3.5 – для регулюючої поворотної заслінки і запірно-регулюючої заслінки типу ГЕРЦ (Herz) (рис. 3.6). Розрахунок витратних характеристик виконувався для умов постійного перепаду тиску в системі.

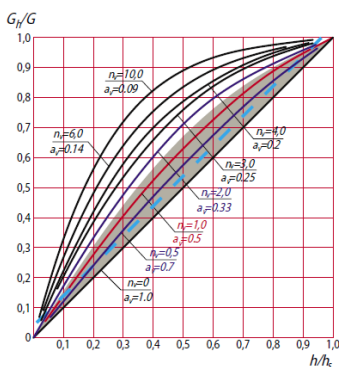


Рис. 3.2. Витратні характеристики РО з лінійною пропускною здатністю

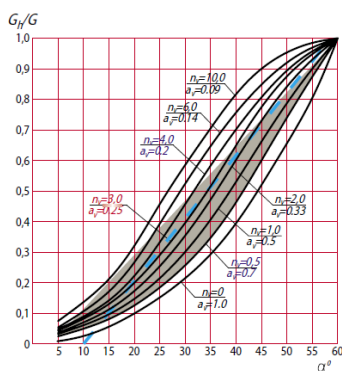


Рис. 3.3. Витратні характеристики РО типу поворотна заслінка

Форми витратних характеристик, близьких до лінійної, на рис. 3.2 – 3.5 виділені заштрихованою областю, в якій

забезпечується надійна робота САР в межах усього діапазону робочого ходу штока РО.

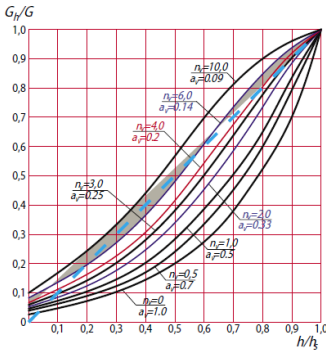


Рис. 3.4. Витратні характеристики РО з рівнопроцентною пропускною здатністю

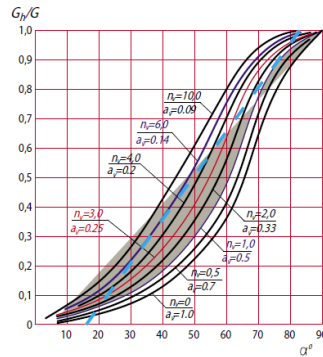


Рис. 3.5. Витратні характеристики РО типу ГЕРЦ 4219

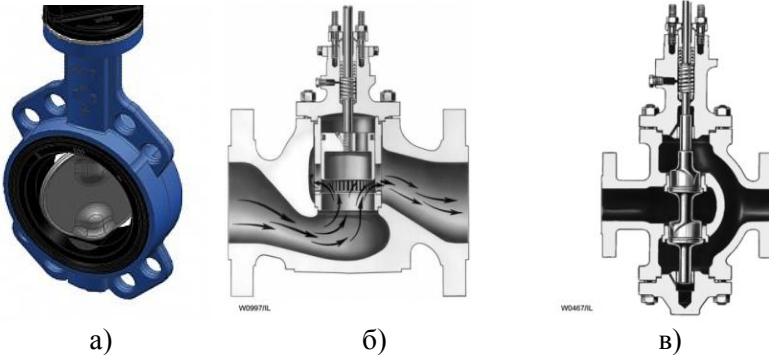


Рис. 3.6. Запірно-регулювальна заслінка ГЕРЦ (а), регулюючий клапан з рівнопропорційною пропускною характеристикою (б, в)

Регулюючі клапани з рівнопропорційною пропускною характеристикою застосовують для регулювання тепловіддачі різних теплообмінників. У цьому випадку витратна характеристика є найбільш сприятливою для регулювання, так як при відносно невеликій втраті тиску в РО досягається

ефективний регулюючий вплив на регульований параметр у всьому діапазоні робочого ходу РО.

Є певна схожість форм витратних характеристик запірно-регулюючої заслінки типу ГЕРЦ (рис. 3.5) і регулюючого клапана з рівнопропорційною пропускною характеристикою (рис.3.4) в діапазоні авторитету  $a_v > 0,25$ , ( $n_v < 3,0$ ).

Для кожного типу РО можна відзначити такий діапазон витратних характеристик, в якому даний тип клапана буде забезпечувати найякісніше регулювання:

- клапани з лінійною пропускною характеристикою слід застосовувати задаючись авторитетом клапана  $a_v > 0,4$  ( $n_v < 1,5$ );
- клапани з рівнопропорційною пропускною характеристикою слід застосовувати задаючись авторитетом клапана  $0,1 < a_v < 0,3$  ( $3 < n_v < 10$ );
- для проміжних значень  $0, < a_v < 0,4$  ( $1,5 < n_v < 3,0$ ) можна вибрати будь-яку з двох форм пропускної характеристики (лінійну або рівнопропорційну), оскільки в цьому діапазоні вони дають приблизно однакову нелінійність;
- поворотну заслінку доцільно застосовувати, задаючись авторитетом клапана  $0,2 < a_v < 0,7$  ( $0,5 < n_v < 4,0$ );
- запірно-регулюючу заслінку типу ГЕРЦ доцільно застосовувати, задаючись авторитетом клапана  $0,15 < a_v < 0,5$  ( $1,0 < n_v < 6,0$ ).

Рівнопроцентна пропускна характеристика найбільш універсальна, тому що в умовах розгалуженої трубопроводної мережі забезпечує практично лінійну витратну характеристику регулюючого органу при значно більш низькому розрахунковому значенні  $\Delta P_{PO}$ , ніж при лінійній пропускній характеристиці. Лінійна пропускна характеристика зручна при необхідності використання регулюючих органів з високим значенням розрахункового опору  $\Delta P_{PO}$ . Ту чи іншу характеристику необхідно вибирати з міркувань оптимізації умов автоматичного регулювання. Якщо основними збуреннями САР є внутрішні, то доцільно застосовувати рівнопроцентну витратну характеристику, а якщо основними збуреннями САР є зовнішні, то доцільною є лінійна витратна характеристика.

*Приклад вибору двоходових регулюючих органів.* Оскільки у багатьох САР двоходові регулюючі органи застосовуються

найчастіше, тому у даній роботі приводиться методика вибору таких РО. Якщо у вибраному технологічному процесі застосовуються інші РО, то необхідно застосувати методику яка підійде для конкретних типів РО. Вибір РО залежить від характеру вихідних даних, які можна розділити на два види:

*Перший вид вихідних даних:*

- розрахункова(і) витрата(и);
- перепад тиску на регульованій ділянці  $\Delta P_{PD}$  ( $\Delta P_{PV}$ );
- опір споживача  $\Delta P_{спож.}$  (системи опалення або теплообмінники з теплопроводами і арматурою);
- необхідний опір регулюючого органу  $(\Delta P_{РО.необх})_{min}$ ;
- тип і типорозмір РО.

*Другий вид вихідних даних:*

- розрахункова(і) витрата(и);
- опір споживача  $\Delta P_{спож.}$  (наприклад, система опалення, теплообмінник з теплопроводами і арматурою та ін.).
- опір регулюючого органу  $(\Delta P_{РО.})_{min}$ ;
- розрахунковий перепад тиску на регульованій ділянці  $\Delta P_{PD}$ ;
- тип та типорозмір РО.

Для першого виду вихідних даних вибір двоходового РО проводиться в такій послідовності:

1. Визначаємо необхідні вихідні дані для розрахунку (вибираємо з технічних характеристик попередньо вибраного РО):

- максимальна (або розрахункова) витрата рідини через двоходовий РО  $G_{max}$ , кг/год;
- перепад тиску на регульованій ділянці  $\Delta P_{PD}$ , Па;
- опір споживача (наприклад, система опалення, теплообмінник з теплопроводами і арматурою та ін.)  $\Delta P_{спож.}$ , Па;
- абсолютний тиск перед РО  $P_l$ , МПа;
- температура перед РО  $T_l$ , К;
- абсолютний тиск насиченої пари  $P_H$ , МПа при температурі  $T_l$  (якщо є, то визначається з довідкових даних, або з карти технологічних параметрів);
- густина рідини (наприклад води)  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup> при  $T_l$ , визначається з довідкових даних, або з карти технологічних параметрів.

Необхідне мінімальне розрахункове значення перепаду тиску на РО  $(\Delta P_{РО.необх})_{min}$ , обчислюється за виразом:

$$(\Delta P_{PO, \text{необх}})_{\min} = \Delta P_{PO} - \Delta P_{\text{спож.}}$$

Необхідне значення авторитету клапана  $a_v$  *необх.* визначається за формулою:

$$a_{v \text{ необх.}} = \frac{(\Delta P_{PO \text{ необх.}})_{\min}}{(\Delta P_{PO \text{ необх.}})_{\min} + \Delta P_{\text{спож.}}}$$

У відповідності до умов, викладених вище за значенням  $a_v$  *необх.* вибирається тип РО і необхідна форма його пропускної характеристики з рис. 3.2 – 3.5.

Необхідна розрахункова умовна пропускна здатність РО  $k_{vs}$  *необх.*, м<sup>3</sup>/год визначається за виразом:

$$k_{vs \text{ необх.}} = \frac{G_{\max}}{\rho \sqrt{0,1(\Delta P_{PO \text{ необх.}})_{\min}}} 10^2.$$

Використовуючи технічні каталоги фірм виробників вибираємо такий типорозмір РО, значення умовної пропускної здатності якого  $k_{vs}$ , м<sup>3</sup>/год відповідатиме умові  $k_{vs} = (0,9 \dots 1,0) k_{vs \text{ необх.}}$

Розрахунковий перепад тиску РО  $\Delta P_{PO}$ , Па обчислюється за виразом:

$$\Delta P_{PO} = 0,1 \left( \frac{G_{\max}}{k_{vs}} \right)^2$$

Прийнятий (вибраний) РО слід перевірити на виникнення кавітації шляхом визначення перепаду тиску  $\Delta P_K$ , Па, при якому виникає кавітація за виразом:

$$\Delta P_K = k_K (P_1 - P_H) 10^6$$

де  $k_K$  - коефіцієнт початку кавітації.

Слід вибирати РО з більш високими значеннями коефіцієнта початку кавітації  $k_K$  за табл. 3.1, або за технічними каталогами.

Вибір типорозміру РО завершений, якщо в результаті виконаних розрахунків виконується умова  $\Delta P_{PO} < \Delta P_K$ . Якщо ця умова не виконується то вибір починається з початку за іншими параметрами до того моменту поки умова буде виконуватися.

Табл. 3.1

Відповідність коефіцієнта початку кавітації  $k_k$  типу РО

Тип РО	Коефіцієнт початку кавітації	Примітки
Шибєрний	0,65	
Односідловий клапан	0,60	
Двосідловий клапан	0,51	
Кульовий	0,68	
Заслінчастий	0,36	При куті повороту $\alpha=60^\circ$

Для другого виду вихідних даних вибір двоходового РО проводиться в такій послідовності:

Необхідні вихідні дані:

- максимальна (або розрахункова) витрата води через двоходовий РО  $G_{max}$ , кг/год;
- втрати тиску споживача (наприклад, система опалення, теплообмінник з теплопроводами і арматурою та ін.)  $\Delta P_{спож.}$ , Па;
- абсолютний тиск перед РО  $P_l$ , МПа;
- температура води перед РО  $T_l$ , К;
- абсолютний тиск насиченої пари  $P_H$ , МПа при температурі  $T_l$ , (якщо є, то визначається з довідкових даних, або з карти технологічних параметрів);
- густина рідини (наприклад води)  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup> при  $T_l$ , визначається з довідкових даних, або з карти технологічних параметрів.

Вибираємо необхідний для нашої САР тип РО, а потім, відповідно до умов, які викладені вище вибираємо форму пропускну характеристики (лінійна, рівнопроцентна або інша) та визначаємо авторитет клапана  $a_{v\text{ необх.}}$ .

Необхідне мінімальне розрахункове значення перепаду тиску на РО  $(\Delta P_{РО.необх.})_{min}$ , Па обчислюємо за виразом:

$$(\Delta P_{РО.необх.})_{min} = \frac{\Delta P_{спож.}}{\frac{1}{a_{v\text{ необх.}}} - 1}$$

Подальші розрахунки і вибір РО виконується так само, як і для першого виду вихідних даних. Розрахунковий перепад тиску на регульованій ділянці  $\Delta P_{PY}$ , Па визначається за виразом:

$$\Delta P_{PD} = \Delta P_{PO} + \Delta P_{спож.}$$

Вибір типорозміру РО завершений, якщо в результаті виконаних розрахунків виконується умова  $\Delta P_{PO} < \Delta P_K$ . Якщо ця умова не виконується то вибір починається з початку за іншими параметрами до того моменту поки умова буде виконуватися.

Після визначення вказаних параметрів, як для першого так і для другого в виду вихідних даних визначають умовний прохід РО  $D_y$ , мм з урахуванням діаметру трубопроводу  $D_T$  за виконанням умови:  $0,25D_T < D_y < D_T$ .

### **Програма роботи.**

1. У відповідності до методики та принципу реалізації управляючого впливу вибрати виконавчий механізм(и) та регулюючий орган(и).
2. Виконати обґрунтування та остаточний вибір ВМ та РО порівнявши найбільш придатні для відповідних умов пристрої різних виробників (у вигляді таблиці порівняння).
3. Виконати розрахунок РО у відповідності до розробленої схеми автоматизації та типу вихідних даних. Тип вихідних даних визначається з опису технологічного процесу та карти технологічних параметрів згідно варіанту. Якщо у описі технологічного процесу відсутні деякі вихідні дані, то їх необхідно прийняти з параметрів вибраного РО (п.2).
4. Якщо приведені у теоретичних відомостях тип РО відсутній у розробленій системі автоматизації, тобто РО іншого типу (наприклад, шибер, насос, компресор, транспортер чи інший), то його розрахунок необхідно узгодити з викладачем.
5. Результати роботи оформити у вигляді звіту на стандартних аркушах формату А4..

### **Контрольні запитання.**

1. Що таке виконавчі механізми і з яких частин вони складаються?



2. У чому суть процесу вибору виконавчих механізмів та регулюючих органів?
3. Яка методика вибору виконавчих механізмів та регулюючих органів?
4. Що таке регулюючий орган.
5. Що таке пропускна здатність  $k_v$ , регулюючого органу?
6. Які є типи регулюючих органів?
7. Що таке витратні характеристики і які є форми витратних характеристик?
8. Яка особливість запірно-регулювальної заслінки ГЕРЦ?
9. Наведіть приклад вибору двоходовий регулюючих органів для першого виду вихідних даних.
10. Наведіть приклад вибору двоходовий регулюючих органів для першого виду вихідних даних.

## Практична робота №4

### Тема: Розрахунок схеми електроживлення та вибір апаратів управління і захисту

**Мета:** Навчитися розраховувати схеми електроживлення, вибирати та розраховувати параметри апаратів захисту та управління.

### Теоретичні відомості

*Плавкі запобіжники* (FU) – це апарати, що захищають установки від перевантажень і струмів короткого замикання. Основними елементами запобіжника є плавка вставка, що включається послідовно з навантаженням, і дугогасильний пристрій, що гасить дугу, яка виникає після плавлення вставки. *Автоматичний вимикач* (QF) – це контактний комутаційний апарат, який служить для нечастих включень і відключень електричних кіл і захисту електроустановок від перевантаження і коротких замикань. *Теплові реле* (KK) – це електричні апарати, призначені для захисту електрообладнання від струмового перевантаження. *Контактори* (K) – це апарати дистанційної дії, призначені для частих включень і відключень силових електричних кіл при нормальних режимах роботи. *Магнітні пускачі* (KM) призначені для дистанційної комутації кола живлення електродвигунів.

Відомо, що всі провідники мають активний опір, тому при проходженні по них електричного струму вони нагріваються. Якщо провідник ізолюваний, то нагрівається і ізоляція. При зростанні сили струму і часу його дії при незмінних умовах охолодження температура провідника підвищується. При цьому підвищуються втрати енергії, більш інтенсивно старіє ізоляція погіршується її діелектричні властивості, що може викликати короткі замикання та призвести до виникнення пожежі, виходять з ладу контактні з'єднання тощо. Виходячи з цього провідники, кабелі і шини вибирають таким чином, щоб температура їх нагрівання не перевищувала допустимих величин. В залежності від матеріалу провідника, класу ізоляції і робочої напруги встановлені такі гранично допустимі температури: 70 °C для неізолюваних проводів і шин; 60 °C для проводів і кабелів з паперовою просоченою ізоляцією при

напрузі до 10 кВ. Цим температурам відповідають величини гранично допустимих тривалих струмів. Величини допустимого струмового навантаження для деяких проводів і кабелів також наведені у Правилах улаштування електроустановок (ПУЕ). По цих значеннях можна визначати величину довготривалого допустимого струму, якщо відомі площа перерізу, тип ізоляції, робоча напруга і умови прокладання лінії або навпаки можна визначити площу перерізу струмоведучої частини по необхідному допустимому довготривалому струму навантаження та способі прокладання.

Щоб визначити площу поперечного перерізу провідника за умовами нагрівання, величину розрахункового струму навантаження у лінії порівнюють з найближчим більшим значенням допустимого струму, наведеного в ПУЕ. По обраному струмі знаходять площу перерізу. При розрахунках мереж до 1000 В розрахунковий струм приймають рівним номінальному струму споживача.

Провідники і кабелі будучи елементами мережі електроживлення, зв'язують джерела живлення з електроприймачами (установками та пристроями, електродвигунами, освітлювальними приладами, нагрівальними установками і т.ін.). Електроприймачі підключають до мережі через захисні апарати (запобіжники, автоматичні вимикачі, струмові реле та ін.). Таким чином, електричний струм проходить по колу: провідник - апарат захисту - електроприймач. Якщо струм кола спричинить недопустиме нагрівання провідника, то при цьому можливе виникнення аварійної ситуації. Наприклад, при струмах перевантаження або короткого замикання провід лінії може бути пошкодженим до згоряння плавкої вставки запобіжника або спрацювання автоматичного вимикача. Тому площа перерізу струмоведучих частин, що вибрана по допустимому струму, має бути перевірена по часо-струмовій характеристиці захисного апарата. У свою чергу апарат захисту повинен відповідати електричним параметрам електроприймача і проводу лінії.

У якості прикладу розглянемо процес вибору апаратів керування і захисту, а також розрахуємо поперечний переріз жил проводів і кабелів схеми електроживлення системи

автоматизації, яка наведена на рис. 4.1. Від шини розподільного щита живиться силова зборка засувок і щит живлення, а від силової зборки живляться два електроприводи засувок з асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором. Електродвигуни, силові зборки і пускова апаратура встановлені в приміщенні з нормальним середовищем. Технічні характеристики двигунів зазначені в табл. 4.1. Режим роботи двигунів виключає можливість тривалих перевантажень, умови їх пуску нескладні. Обидва двигуна можуть працювати одночасно, але їх одночасний пуск не можливий. Технічні характеристики цих електроприймачів зазначені в табл. 4.2.

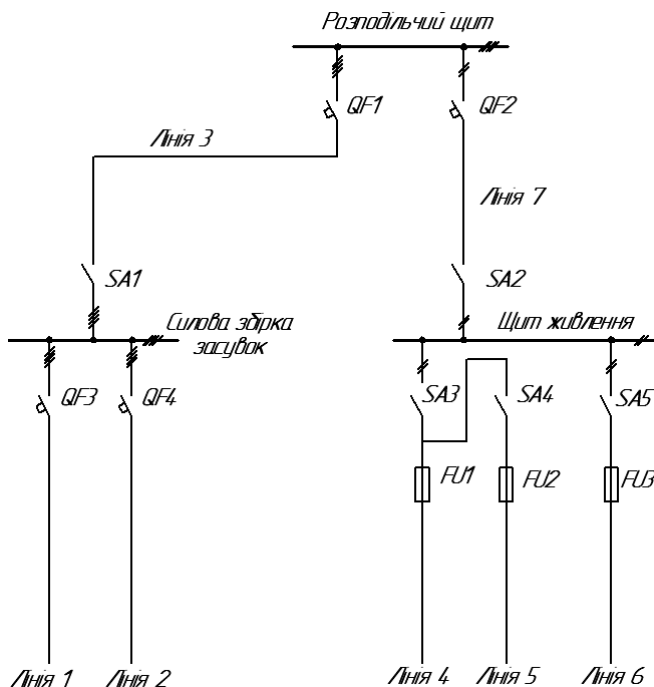


Рис. 4.1. Схема електроживлення системи автоматизації

Усі електроприймачі і апаратура живлення встановлені на щитах, що перебувають у приміщенні з нормальним

середовищем. Електропроводка від силового трансформатора до розподільчого щита виконана кабелем з алюмінієвими жилами, а вся інша - проводами з алюмінієвими жилами, прокладеними в захисних трубах.

Табл. 4.1

Технічні характеристики електродвигунів

№ лінії	Тип	Ном. потужність, $P$ , Вт	Номін. напруга, $U_n$ , В	Номін. струм, $I_n$ , А	Кратність пускового струму	Пусковий струм, $I_{пуск}$ , А
1	A02-62-2	17000	380	32,5	7	228
2	A02-51-4	7500	380	14,8	7	103,5

Табл. 4.2

Технічні характеристики електроприймачів

№ лінії	Найменування і тип електроприймача	Номін. потужність, $S$ , ВА ( $P$ , Вт)	Номін. напруга $U_{н.ф.}$ , В
4	Система регулювання температури:		
	а) блок ручного управління БРУ-10	300	220
	б) одно канальний вимірювач-регулятор МІК-21		
	в) виконавчий механізм МЭО-25/100		
5	Обчислювач об'єму газу	20	220±5%
6	Схема сигналізації:		
	а) 11 реле МКУ-48	110	220
	б) 10 ламп Ц-220-10	(100)	220

Вибір апаратів керування, захисту і поперечних перерізів провідників доцільно вести в наступній послідовності:

- визначаються тривалі і короточасні розрахункові струми ліній;

- по величині розрахункових струмів ліній проводиться вибір апаратів керування і захисту;
- проводиться вибір поперечних перерізів провідників по величині розрахункових струмів ліній і за умовою відповідності обраним апаратам захисту, а також перевіряється відповідність обраних перерізів жил проводів і кабелів найменшим допустимим поперечним перетинам провідників по механічній міцності;
- перевіряються надійність і селективність дії захисних апаратів при короткому замиканні у найбільш віддаленій точці мережі;
- у відповідних випадках (наприклад, при довгих мало навантажених лініях) проводиться перевірка поперечних перерізів провідників по втраті напруги.

*Приклад послідовності розрахунку.*

Визначаємо розрахункові струми ліній електропередач (див. рис. 4.1):

Лінія 1. Тривалим розрахунковим струмом лінії є номінальний струм двигуна  $I_{довг.} = I_{н.дв} = 32,5$  А. Короткочасним струмом лінії буде пусковий струм двигуна  $I_{кор.} = I_{пуск} = 228$  А.

Лінія 2. Тривалим розрахунковим струмом лінії є номінальний струм двигуна  $I_{довг.} = I_{н.дв} = 14,8$  А. Короткочасним струмом лінії буде пусковий струм двигуна  $I_{кор.} = I_{пуск} = 103,5$  А.

Лінія 3. Тривалим розрахунковим струмом лінії буде сума номінальних струмів двигунів  $I_{довг.} = \Sigma I_{н.дв} = 32,5 + 14,8 = 47,3$  А. Короткочасний струм лінії визначиться з умови, що двигун №2 працює, а двигун №1 пускається  $I_{кор.} = I_{н.дв.2} + I_{пуск.1} = 14,8 + 228 = 242,8$  А.

Лінія 4. Розрахунковий струм лінії визначається за формулою:  $I = \frac{1000S}{U_{н.ф}} = \frac{1000 \cdot 0,3}{220} = 1,37$  А.

Лінія 5. Розрахунковий струм лінії визначається за формулою:  $I = \frac{1000S}{U_{н.ф}} = \frac{1000 \cdot 0,02}{220} = 0,09$  А.

Лінія 6. Розрахунковий струм лінії визначається за формулою  $I = \Sigma I_p + 0,1 \Sigma I'_p$ . У вказаній схемі (див. рис. 4.1) частина реле і ламп схеми сигналізації можуть працювати одночасно, а частина, у цей же час може включатися. У розглянутому прикладі одночасно можуть працювати 5 реле і 5 ламп. Струм,

що протікає через одне реле МКУ-48 визначається за формулою  $I = \frac{1000S}{U_{н.ф}} = \frac{1000 \cdot 0,01}{220} = 0,046 \text{ А}$ . Струм, що протікає через одну лампу Ц-220-10 дорівнює  $I = \frac{1000S}{U_{н.ф}} = \frac{1000 \cdot 0,01}{220} = 0,046 \text{ А}$ . Сума всіх струмів  $\Sigma I_p = 0,046 \cdot 5 + 0,046 \cdot 5 = 0,46 \text{ А}$ .

У розглянутому прикладі одночасно можуть включатися 2 реле і 2 лампи  $\Sigma I'_g = 0,046 \cdot 2 + 0,046 \cdot 2 = 0,184 \text{ А}$ . Тоді розрахунковий струм лінії буде  $I = 0,46 + 0,1 \cdot 0,184 = 0,48 \text{ А}$ .

Лінія 7. Розрахунковий струм лінії визначиться, як сума розрахункових струмів ліній 4, 5, 6  $I = 1,37 + 0,09 + 0,48 = 1,94 \text{ А}$ .

Величини розрахункових струмів усіх ліній зведені в табл. 4.3.

Табл. 4.3

Величини розрахункових струмів								
Номер лінії		1	2	3	4	5	6	7
Розрахунковий струм	тривалий	32,5	14,8	47,3	1,37	0,09	0,48	1,94
	короткочасний	228	103,5	242,8				

*Вибір апаратів керування і захисту.* У відповідності до розрахункових струмів та умов роботи електроприймачів вибираємо такі апарати керування і захисту:

- а) у лініях 1 і 2 - автоматичні вимикачі і магнітні пускачі;
- б) у лінії 3 – автоматичний вимикач встановлений у розподільчому щиті і вимикач - на введенні в силову зборку засувки;
- в) у лініях 4, 5, 6 - вимикачі і запобіжники;
- г) у лінії 7 – автоматичний вимикач встановлений у розподільчому щиті і вимикач - на введенні в щит живлення.

*Приклад послідовності вибору та розрахунку.*

*Вибір апаратів керування:*

Лінія 3. Виходячи з параметрів мережі та необхідних параметрів пристроїв вибираємо пакетний вимикач типу ПВМЗ-100 за такими параметрами:

а) номінальна напруга живлення  $U_n \geq U_{н.мережі} = 380 \text{ В}$ , де  $U_n$  - номінальна напруга вимикача (перемикача),  $U_{н.мережі}$  - номінальна напруга мережі;

б) номінальний струм  $I_n$  за тривалим розрахунковим струмом кола  $I_{відк.} \geq I_{довг.}$ , де  $I_{відк.}$  - найбільший струм, що відключається вимикачем/перемикачем,  $I_{довг.}$  - тривалий розрахунковий струм кола  $I_n \geq I_{довг.} \quad 63 \text{ А} > 47,3 \text{ А}$ .

Лінії 4, 5, 6, 7. Беручи до уваги послідовність вибору, яка описана для лінії 3 вибираємо пакетні вимикачі типу ПВМ2-10 (враховуючи найбільший тривалий струм у лінії 7, що дорівнює 1,94 А) за такими параметрами:  $U_n \geq U_{н.мережі} = \sim 220 \text{ В}$ ,  $I_n \geq I_{довг.} \quad 10 \text{ А} > 1,94 \text{ А}$ .

Основні технічні характеристики вибраних апаратів керування, встановлених у розглянутій схемі зведені в табл. 4.4

Табл. 4.4

Основні технічні характеристики апаратів керування

Номер лінії	3	4	5	6	7	8	9
Позначення апарата	В1	В3	В4	В6	В7	В8	В2
Тип апарата	ПВМ3-100	ПВМ2-10					
Номінальна напруга $U_n$ , В	$\sim 380$	$\sim 220$					
Номінальний струм $I_n$ , А	63	10					

*Вибір апаратів захисту системи електроживлення системи автоматизації здійснюється за такими етапами:*

а) вибираємо автомати захисту;

б) розраховуємо номінальний струм автоматів захисту.

*Приклад послідовності розрахунку.*

Лінія 1. Вибираємо автоматичний вимикач типу АП50-3МТ за такими параметрами:  $U_{н.а} \geq U_{н.м}$ ;  $I_{н.а} \geq I_{довг.}$ ,

де  $U_{н.а}$  - номінальна напруга автомата;

$U_{н.м}$  - номінальна напруга мережі;

$I_{н.а}$  - номінальний струм автомата;



$I_{довг.}$  - тривалий розрахунковий струм лінії.

$$U_{н.а} \geq U_{н.м} \sim 500 \text{ В} > \sim 380 \text{ В}; I_{н.а} \geq I_{довг.} 50 \text{ А} > 32,5 \text{ А}$$

Визначаємо номінальний струм комбінованого розчеплювача за формулою  $I_{н.розч.} \geq I_{н.дов.} I_{н.розч.} \geq 32,5 \text{ А}$ . Виходячи з визначених параметрів бираємо розчеплювач з номінальним струмом  $I_{н.расц} = 40 \text{ А}$ .

Визначаємо струм уставки (відсічення) електромагнітного елемента комбінованого розчеплювача за формулою:  $I_{уст.ел.магн} \geq 1,25 I_{пуск}$ , де  $I_{пуск}$  - пусковий струм двигуна.  $I_{уст.ел.магн} \geq 1,25 \cdot 228 = 285 \text{ А}$ .  $\frac{I_{уст.ел.магн}}{I_{н.розч}} = \frac{285}{40} = 7,1$ . Приймаємо  $I_{уст.ел.магн} = 8 I_{н.розч.}$

Визначаємо номінальний струм уставки теплового елемента комбінованого розчеплювача за формулою  $I_{н.уст.тепл} \geq I_{н.дов.}$ :  $I_{н.уст.тепл} \geq 32,5 \text{ А}$ . Вибираємо автоматичний вимикач на  $I_{н.уст.тепл} = 33 \text{ А}$ .

Лінія 2. Вибираємо автоматичний вимикач типу АП50-3МТ за такими параметрами:  $U_{н.а} \geq U_{н.с.}, \sim 500 \text{ В} > \sim 380 \text{ В}, I_{н.а} \geq I_{довг.} 50 \text{ А} > 14,8 \text{ А}$ . Визначаємо номінальний струм комбінованого розчеплювача  $I_{н.розч} \geq I_{н.дов.}, I_{н.розч} \geq 14,8 \text{ А}$ . Вибираємо розчеплювач з номінальним струмом  $I_{н.розч} = 16 \text{ А}$ . Визначаємо струм уставки (відсічення) електромагнітного елемента комбінованого розчеплювача  $I_{уст.ел.магн} \geq 1,25 \cdot 103,5 = 130 \text{ А}$ ,  $\frac{I_{уст.ел.магн}}{I_{н.розч}} = \frac{130}{16} = 8,1$ . Приймаємо  $I_{уст.ел.магн} = 8 I_{н.розч.}$

Визначаємо номінальний струм уставки теплового елемента комбінованого розчеплювача  $I_{н.уст.тепл} \geq I_{н.дов.}, I_{н.уст.тепл} \geq 14,8 \text{ А}$ . Вибираємо автоматичний вимикач на  $I_{н.уст.тепл} = 15 \text{ А}$ .

Лінія 3. Вибираємо автоматичний вимикач типу АП50-3МТ за такими параметрами:  $U_{н.а} \geq U_{н.с.}, \sim 500 \text{ В} > \sim 380 \text{ В}, I_{н.а} \geq I_{довг.}, 50 \text{ А} > 47,3 \text{ А}$ .

Визначаємо номінальний струм комбінованого розчеплювача  $I_{н.розч} \geq I_{н.дов.}, I_{н.розч} \geq 47,3 \text{ А}$ . Вибираємо розчеплювач з номінальним струмом  $I_{н.розч} = 50 \text{ А}$ . Визначаємо струм уставки (відсічення) електромагнітного елемента комбінованого розчеплювача за формулою  $I_{уст.ел.магн} \geq 1,25(\sum I_{н.дов} + I'_{пуск})$ :

де  $\sum I_{н.дв}$  - сума номінальних струмів одночасно працюючих двигунів до моменту пуску двигуна (групи двигунів);

$I'_{пуск}$  - пусковий струм двигуна (або групи двигунів, що пускаються одночасно) найбільший приріст пускового струму.

$$I_{уст.ел.магн} \geq 1,25 (\sum I_{н.дв} + I'_{пуск}), I_{уст.ел.магн} \geq 1,25 \cdot 242,8 = 304 \text{ А},$$
$$\frac{I_{уст.ел.магн}}{I_{н.розч}} = \frac{304}{50} = 6. \text{ Приймаємо } I_{уст.ел.магн} = 8 I_{н.розч}.$$

Визначаємо номінальний струм уставки теплового елемента комбінованого розчеплювача  $I_{н.уст.тепл} \geq I_{н.дв.}, I_{н.уст.тепл} \geq 47,3 \text{ А}$ .  
Вибираємо автоматичний вимикач на  $I_{н.вуст.тепл} = 48 \text{ А}$ .

Лінія 4. Вибираємо запобіжники типу ПТ з такими параметрами:  $U_{н. зап.} \geq U_{н.мережі}$ , де  $U_{н. зап.}$  - номінальна напруга запобіжника;  $U_{н.мережі}$  - номінальна напруга мережі.

За тривалим розрахунковим струмом лінії визначаємо номінальний струм запобіжника  $I_{н.уст} \geq I_{довг.} > 1,37 \text{ А}$ , де  $I_{н.пл.вст}$  - номінальний струм плавкої вставки;  $I_{довг.}$  - тривалий розрахунковий струм лінії. За номінальною розрахунковою напругою мережі визначаємо номінальну напругу запобіжника  $U_{н. зап} \geq U_{н.мережі} \sim 250 \text{ В} > \sim 220 \text{ В}$ . Приймаємо  $I_{н.пл.вст} = 2 \text{ А}$ .

Лінія 5. Вибираємо запобіжники типу ПТ з такими параметрами:  $U_{н. зап} \geq U_{н.мережі}$ ,  $\sim 250 \text{ В} > \sim 220 \text{ В}$ ;  $I_{н.пл.вст} \geq I_{довг.}$ ,  $I_{н.вст} > 0,09 \text{ А}$ . Приймаємо  $I_{н.пл.вст} = 0,3 \text{ А}$ .

Лінія 6. Вибираємо запобіжники типу ПТ з такими параметрами:  $U_{н. зап} \geq U_{н.мережі}$ ,  $\sim 250 \text{ В} > \sim 220 \text{ В}$ ;  $I_{н.пл.вст} \geq I_{довг.}$ ,  $I_{н.вст} > 0,48 \text{ А}$ . Приймаємо  $I_{н.пл.вст} = 0,5 \text{ А}$ .

Лінія 7. Вибираємо автоматичний вимикач типу PL6-B2/2 з такими параметрами:  $U_{н.а} \geq U_{н.мережі}$ ,  $\sim 230/400 \text{ В} > \sim 220 \text{ В}$ ;  $I_{н.а} \geq I_{довг.}$ ,  $2 \text{ А} > 1,94 \text{ А}$ .

Основні розрахункові технічні характеристики визначених апаратів захисту зведені в табл. 4.5.

Після виконаних розрахунків виконуємо уточнення параметрів виконуємо остаточний вибір та приймаємо визначені пристрої.

Табл. 4.5

## Технічні характеристики апаратів захисту

Номер лінії	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Позначення апарата	QF3	QF4	QF1	FU1	FU2	FU3	FU4	FU5	QF2
Тип апарата	АП50-3МТ			ПТ					АП50-2М
Струм розчеплювача авт. вим., $I_{н.розч.}, A$	40	16	50	-	-	-	-	-	4
Струм уставки електромагн. розчеплювача $I_{уст.ел.магн.}$	$8I_{н.розч.}$			-	-	-	-	-	$3,5I_{н.розч.}$
Струм уставки теплового розчеплювача $I_{н.уст.тепл.}, A$	33	15	48	-	-	-	-	-	-
Струм плавкої вставки $I_{н.пл.вст.}, A$	-	-	-	2	0,5	0,5	1	0,5	-

**Програма роботи.**

1. Розглянути принцип розрахунку схеми електроживлення, вибору апаратів захисту та управління на основі матеріалу з теоретичних відомостей.
2. Використовуючи розроблену на попередніх заняттях принципову електричну схему на основі матеріалу, який описаний у теоретичних відомостях розробити схему електроживлення (див. рис. 4.1).
3. На основі прикладу, який розглянутий у теоретичних відомостях виконати вибір та розрахунок апаратів керування та захисту.
4. Результати проектування оформити у вигляді звіту на стандартних аркушах формату А4.

### **Контрольні запитання.**

1. Як здійснюється вибір плавкого запобіжника?
2. Як визначити уставки автоматичного вимикача з комбінованим розчіплювачем.
3. Для чого використовуються автоматичні вимикачі з комбінованим розчіплювачем.
4. Для чого використовується теплове реле.
5. Як здійснюється вибір теплового реле?
6. Яке призначення автоматичних вимикачів в електричних колах?
7. Як здійснюється вибір провідників для електроспоживачів?

## Практична робота №5

### Тема: Розрахунок дії апаратів захисту при короткому замиканні

**Мета:** Навчитися розраховувати апарати дії захисту при виникненні у колах електроживлення короткого замикання.

#### Теоретичні відомості

Правила та послідовність вибору електричних апаратів і провідників за умовами виникнення короткого замикання регламентується ПУЕ, розд 1.4. У цьому розділі визначені вимоги щодо вибору і перевірки електричних апаратів і провідників за умови електродинамічної і термічної стійкості, а також комутаційної здатності при виникненні коротких замикань (КЗ) в електроустановках змінного струму. За умовами виникнення короткого замикання (КЗ) потрібно перевіряти: електричні апарати, струмопроводи, жили кабелів, фазні проводи, а також повітряні лінії електропередавання.

В електроустановках напругою до 1 кВ при визначенні струмів КЗ враховують умови:

- усі джерела, які беруть участь у живленні точки КЗ, працюють одночасно з номінальним навантаженням;
- усі синхронні машини мають автоматичні регулятори напруги та пристрої форсування збудження;
- коротке замикання настає в момент часу, за якого струм КЗ матиме найбільше значення;
- електрорушійні сили всіх джерел живлення збігаються за фазою;
- розрахункову напругу приймають на 5 % більше за номінальну;
- враховують вплив на струми КЗ приєднаних до даної мережі синхронних компенсаторів, синхронних і асинхронних електродвигунів.

Для прикладу *визначення струмів КЗ* виконаємо розрахунки (наближений) струмів однофазного короткого замикання в лініях електроприводів, що живлять засувки і потенціометр (див. рис. 4.1 лінії 1 і 6 Практична робота 4). Визначення точок можливого виникнення КЗ здійснюється за умови його появи у найбільш характерних точках, у нашому випадку це точки *K1* і

*K2*. Спрощена схема для розрахунку струмів короткого замикання наведена на рис. 5.1, а параметри ліній електроживлення наведені у табл. 5.1. Для зручності ділянки ліній системи електроживлення позначені літерами.

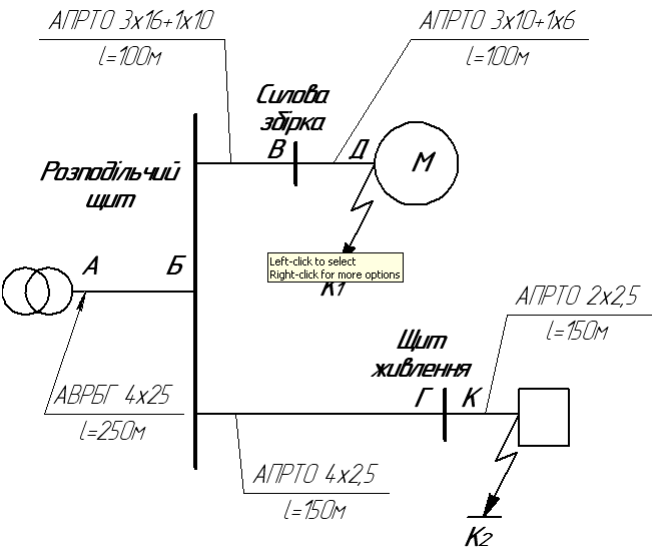


Рис. 4.1. Спрощена схема електроживлення для розрахунку струмів *K3*

Таблиця 5.1

Поперечний перетин провідників							
№ лінії	1	2	3	4	5	6	7
Січення проводу, мм <sup>2</sup>	10	2,5	16	2,5	2,5	2,5	2,5

Визначаємо струм *K3* у розрахунковій точці *K1*

Визначаємо повний опір для кола фаза-нуль за формулою:

$$Z_{\phi-0} = \sqrt{(\sum R_{\phi} + \sum R_0)^2 + (\sum X_{\phi} + \sum X_0)^2} + Z_{m(1)} \tag{5.1}$$

де:

$R_{\phi} = \frac{\rho l}{S_{\phi}}$  - активний опір провідника фази відповідної ділянки

кола, Ом;  
(5.2)

$X_\phi = a l$  - індуктивний опір провідника фази відповідної ділянки кола, Ом;  
(5.3)

$R_0 = \frac{el}{S_0}$  - активний опір ділянки кола нульового проводу, Ом;  
(5.4)

$X_0 = a l$  - індуктивний опір ділянки кола нульового проводу, Ом;  
(5.5)

$l$  - довжина ділянки, км;

$S_\phi, S_0$  - поперечний перетин провідника відповідно фазного і нульового проводу, мм<sup>2</sup>;

$a$  - коефіцієнт, що залежить від конструкції провідників: 0,07 - для кабелів; 0,09 - для проводів прокладених у захисних трубах;

$e$  - коефіцієнт, що залежить від матеріалу провідників: 19 - для мідних проводів і кабелів; 32 - для алюмінієвих проводів і кабелів;

$R_m = \frac{c\kappa^2}{S_m}$  - активний опір фази живильного трансформатора, Ом;  
(5.6)

$X_m = d R_m$  - індуктивний опір фази живильного трансформатора, Ом;  
(5.7)

$S_m$  - потужність трансформатора, кВА;

$c$  - коефіцієнт, який залежить від типу трансформатора: 4 - для трансформаторів до 60 кВА; 3,5 - до 180 кВА; 2,5 - до 1000 кВА; 2,2 - до 18000 кВА;

$d$  - коефіцієнт, який залежить від типу трансформатора: 2 - для трансформаторів до 180 кВА; 3 - до 1000 кВА; 4 - до 1800 кВА;

$Z_{m(1)} = \frac{22}{S_m} K^2$  - опір кола трансформатора, Ом;  
(5.8)

$K = \frac{U_{н.с}}{380}$  - розрахунковий повний опір трансформатора при відведенні струму КЗ на землю, Ом;  
(5.9)

Для виконання розрахунку необхідно розрахувати активний опір фазного й нульового провідників ділянок мережі за формулами (5.2) і (5.4).

$$R_{\phi AB} = \frac{32 \cdot 0,25}{25} = 0,32 \text{ Ом};$$

$$R_{\phi BB} = \frac{32 \cdot 0,1}{16} = 0,20 \text{ Ом};$$

$$R_{\phi BD} = \frac{32 \cdot 0,1}{10} = 0,32 \text{ Ом};$$

$$R_{0AB} = \frac{32 \cdot 0,25}{25} = 0,32 \text{ Ом};$$

$$R_{0BB} = \frac{32 \cdot 0,1}{10} = 0,32 \text{ Ом};$$

$$R_{0BD} = \frac{32 \cdot 0,1}{6} = 0,53 \text{ Ом}.$$

Після цього визначаємо суму всіх фазних опорів для відповідної ділянки до точки *KI* можливого виникнення КЗ:

$$\Sigma R_{\phi} = R_{\phi AB} + R_{\phi BB} + R_{\phi BD} = 0,32 + 0,2 + 0,32 = 0,84 \text{ Ом};$$

$$\Sigma R_0 = R_{0AB} + R_{0BB} + R_{0BD} = 0,32 + 0,32 + 0,53 = 1,17 \text{ Ом}.$$

Подібний розрахунок виконуємо для визначення індуктивного опору фазного і нульового проводів відповідних ділянок мережі за формулами (5.3) і (5.5):

$$X_{\phi AB} = 0,07 \cdot 0,25 = 0,017 \text{ Ом};$$

$$X_{\phi BB} = 0,09 \cdot 0,1 = 0,009 \text{ Ом};$$

$$X_{\phi BD} = 0,09 \cdot 0,1 = 0,009 \text{ Ом}$$

$$X_{0AB} = 0,07 \cdot 0,25 = 0,017 \text{ Ом};$$

$$X_{0BB} = 0,09 \cdot 0,1 = 0,009 \text{ Ом};$$

$$X_{0BD} = 0,09 \cdot 0,1 = 0,009 \text{ Ом}.$$

Після цього визначаємо суму всіх індуктивних опорів для відповідної ділянки до точки *KI* можливого виникнення КЗ:

$$\Sigma X_{\phi} = X_{\phi AB} + X_{\phi BB} + X_{\phi BD} = 0,017 + 0,009 + 0,009 = 0,035 \text{ Ом};$$

$$\Sigma X_0 = X_{0AB} + X_{0BB} + X_{0BD} = 0,017 + 0,009 + 0,009 = 0,035 \text{ Ом}.$$

Як видно з розрахунку, індуктивні опори фазного і нульового проводів виявляються незначними і можуть не враховуватися в подальших розрахунках. Розрахунковий повний опір трансформатора при появі струму КЗ визначаємо за формулою (5.8):

$$Z_{m(1)} = \frac{22}{1000} = 0,02 \text{ Ом}; K = \frac{U_{н.с}}{380} = \frac{380}{380} = 1.$$

Відповідно розраховуємо повний опір для кола фаза-нуль за формулою (5.1):



$$Z_{\phi-0} \approx \sqrt{(0,84 + 1,17)^2} + 0,02 = 2,03 \text{ Ом.}$$

Струм однофазного короткого замикання визначаємо за формулою:

$$I_{\text{к.з.}(1)} = \frac{U_{\text{н.с}}}{\sqrt{3}Z_{\phi-0}}, \quad I_{\text{к.з.}(1)} = \frac{380}{1,73 \cdot 2,03} = 107, \quad \text{А} \quad (5.10)$$

Кратність струму короткого замикання повинна бути не менше  $\frac{I_{\text{к.з.}(1)}}{I_{\text{н.розч.}}} = 3$ ;

де,  $I_{\text{н.розч.}}$  – паспортне значення струму розчеплювача автоматичного вимикача, А.

У нашому прикладі це значення  $\frac{I_{\text{к.з.}(1)}}{I_{\text{н.розч.}}} = \frac{107}{40} < 3$ , тому необхідна умова не виконується. Щоб виконалася ця умова, тобто щоб струм КЗ перевищував номінальний струм розчеплювача в 3 рази, необхідно зменшити повний опір кола струму короткого замикання. Для цього потрібно збільшувати поперечний переріз провідників (див. табл. 5.1) і перерахувати всі показники знову. Прийmemo переріз нульових проводів рівним перетину фазних проводів на лініях БВ і ВГ і перерахуємо відповідні показники:

$$R_{\phi БВ} = R_{0 БВ} = \frac{32 \cdot 0,1}{16} = 0,2 \text{ Ом};$$

$$R_{\phi ВГ} = R_{0 ВД} = \frac{32 \cdot 0,1}{10} = 0,32 \text{ Ом};$$

$$\Sigma R_{\phi} = \Sigma R_0 = 0,32 + 0,2 + 0,32 = 0,84 \text{ Ом};$$

$$Z_{\phi-0} \approx \sqrt{(0,84 + 0,84)^2} + 0,02 = 1,7 \text{ Ом.}$$

Після цього струм однофазного короткого замикання буде  $I_{\text{к.з.}(1)} = \frac{380}{1,73 \cdot 1,7} = 130 \text{ А}$ , а кратність струму короткого замикання стане більшою  $\frac{I_{\text{к.з.}(1)}}{I_{\text{н.расч}}} = \frac{130}{40} > 3$ . Отже необхідна умова виконана.

Після визначення струмів КЗ необхідно перевірити *селективність дії автоматичних вимикачів* при появі розрахованого струму вище КЗ  $I_{\text{к.з.}(1)} = 130 \text{ А}$ . У нашій схемі цей струм проходить послідовно через два автоматичні вимикачі QF1 і QF3 (див. рис. 4.1 Практична робота 4) з номінальними струмами розчеплювачів відповідно 50 А і 40 А. При появі

струму КЗ повинен спрацювати тільки автоматичний вимикач QF3 з номінальним струмом розчеплювача 40 А (див. рис. 4.1 Практична робота 4). Визначаємо час спрацьовування автоматичного вимикача по часово-струмовій характеристиці при кратності струму перевантаження у нашому прикладі – 3,2. Час спрацьовування автоматичного вимикача дорівнює 18 сек. (часово-струмові характеристики автоматичних вимикачів визначаємо з технічних параметрів в технічних паспортах та інструкціях з експлуатації).

Визначаємо час спрацьовування автоматичного вимикача QF1 (див. рис. 4.1 Практична робота 4) по часово-струмовій характеристиці при кратності струму перевантаження, у нашому прикладі - 2,5 час спрацьовування автоматичного вимикача дорівнює 30 сек. Таким чином, автоматичний вимикач QF3, що має менший час спрацьовування спрацює раніше, тобто умова селективності дії автоматичних вимикачів виконана.

Для перевірки автоматичного вимикача на розмикаючу здатність розрахуємо струм трифазного короткого замикання за формулою (5.10)  $I_{к.з.(3)} = \frac{U_{н.с}}{\sqrt{3}Z_{\phi}}$ , а значення  $Z_{\phi}$  знаходимо за

$$\text{формулою } Z_{\phi} = \sqrt{(\sum R_{\phi} + R_m)^2 + (\sum X_{\phi} + X_m)^2}.$$

Активний і індуктивний опору фази живильного трансформатора визначаємо по формулах (5.6) і (5.7):

$$R_m = \frac{2,5 \cdot 1}{1000} = 0,0025 \text{ Ом};$$

$$X_m = 3 \cdot 0,0025 = 0,0075 \text{ Ом}.$$

У результаті отримаємо загальний опір дорівнює:  $Z_{\phi} = \sqrt{(0,84 + 0,0025)^2 + (0,035 + 0,0075)^2} = 0,84 \text{ Ом}$ , а струм КЗ  $I_{к.з.(3)} = \frac{380}{1,73 \cdot 0,84} = 260 \text{ А}$ , таким чином визначений струму КЗ набагато менший гранично допустимого для даного автоматичного вимикача, а це означає, що цей пристрій підходить за розрахунковими параметрами.

Визначення струму КЗ у розрахунковій точці К2, виконаємо аналогічно до визначення струму КЗ у точці К1. Розраховані параметри приведено нижче:

$$R_{\phi AB} = 0,32 \text{ Ом } R_{0AB} = 0,32 \text{ Ом};$$

$$R_{\phi БД} = \frac{32 \cdot 0,15}{2,5} = 1,92 \text{ Ом};$$

$$R_{0БД} = \frac{32 \cdot 0,15}{2,5} = 1,92 \text{ Ом};$$

$$R_{0ДЕ} = \frac{32 \cdot 0,05}{2,5} = 0,64 \text{ Ом};$$

$$R_{0ДЕ} = \frac{32 \cdot 0,05}{2,5} = 0,64 \text{ Ом};$$

$$\Sigma R_{\phi} = 0,32 + 1,92 + 0,64 = 2,88 \text{ Ом};$$

$$\Sigma R_0 = 2,88 \text{ Ом};$$

$$Z_{\phi-0} \approx \sqrt{(2,88 + 2,88)^2 + 0,02} = 5,78 \text{ Ом}.$$

Струм однофазного короткого замикання рівний  $I_{к.з.(1)} = \frac{380}{1,73 \cdot 5,78} = 38 \text{ А}$ . Умова необхідної кратності струму короткого замикання стосовно номінального струму плавкої вставки запобіжника в цьому випадку виконується, тому що  $\frac{I_{к.з.(1)}}{I_{н.вст}} = \frac{38}{0,5} > 3$ .

Для визначення *втрат напруги у провідниках* необхідно визначити втрати напруги у всіх лініях розглянутого прикладу (див. рис. 4.1 Практична робота 4). Для цього розробляємо спрощену схему розрахунку втрат напруги, яка наведена на рис. 5.2.

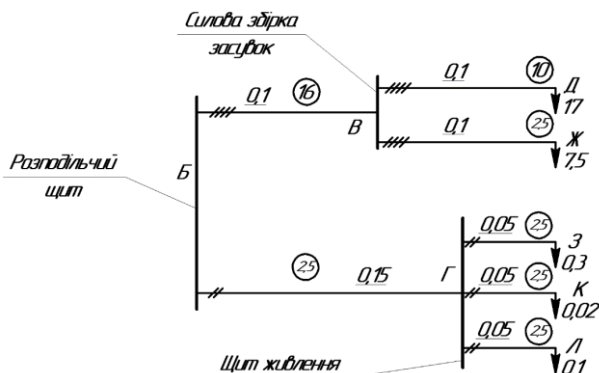


Рис. 5.2. Схема для розрахунку втрат напруги

На рис. 5.2 зазначені навантаження (кВт), довжина ділянок (км) і переріз проводів (мм<sup>2</sup>), обрані при розрахунках

провідників за умовами дії довготривалого розрахункового струму. Оскільки споживані потужності окремих приладів, регуляторів, апаратів найчастіше задаються у вигляді повної потужності, то з метою спрощення розрахунку втрат напруги проведемо за повною потужністю. У цьому випадку допускається похибка у бік збільшення втрат напруги хоча у дійсності втрати будуть меншими. Втрати напруги  $\Delta U$  від точки Б до найбільш віддалених точок визначаються сумою втрат напруги на окремих ділянках. Визначаємо втрати напруги на ділянках трифазної лінії змінного струму за формулою:

$$\Delta U = \frac{100 \sum Pl}{\gamma U_n^2 F}, \% \quad (5.11).$$

$$\Delta U_{BB} = \frac{100}{31,7 \cdot 0,38^2} \frac{24,5 \cdot 0,1}{16} = 3,38\%;$$

$$\Delta U_{BD} = \frac{100}{31,7 \cdot 0,38^2} \frac{17 \cdot 0,1}{10} = 3,72\%;$$

$$\Delta U_{BJ} = \frac{100}{31,7 \cdot 0,38^2} \frac{7,5 \cdot 0,1}{2,5} = 6,55\%.$$

Втрата напруги від точки Б до точок Г і Ж складуть:

$$\Delta U_{BD} = \Delta U_{BB} + \Delta U_{BD} = 3,38 + 3,72 = 7,1 \%;$$

$$\Delta U_{BJ} = \Delta U_{BB} + \Delta U_{BJ} = 3,38 + 6,55 = 9,93 \%.$$

Враховуючи задані режими і короткочасність роботи електроприводів засувки, отримані значення втрат напруги в лініях БВГ і БВЖ у цьому випадку можна вважати допустимими.

Визначаємо втрати напруги на ділянках двохпровідної мережі змінного струму за формулою:

$$\Delta U = \frac{200 \sum Pl}{\gamma U_n^2 F}, \% \quad (5.12)$$

де,  $\gamma$  - питома провідність матеріалу проводів ( $\gamma = 53$  м/Ом·мм<sup>2</sup> - для мідних провідників і  $\gamma = 31,7$  м/Ом·мм<sup>2</sup> - для алюмінієвих провідників);

$U_n$  - номінальна напруга мережі, кВ (для трифазної мережі  $U_n$  - фазна напруга);

$F$  - переріз провідників, мм<sup>2</sup>;

$P$  - навантаження, кВт;

$I_a$  - активна складова струму, А;

$l$  - довжина ділянки, км.

$$\Delta U_{БГ} = \frac{200}{31,7 \cdot 0,22^2} \frac{0,68 \cdot 0,15}{2,5} = 5,38\%$$

Втрата напруги на даній ділянці перевершує значення допустимих відхилень напруги на вході обчислювача об'єму газу (5%), тому необхідно збільшити переріз провідників лінії БГ з 2,5 мм<sup>2</sup> до 4 мм<sup>2</sup> та виконати перерахунок з новими показниками:

$$\Delta U_{БГ} = \frac{200}{31,7 \cdot 0,22^2} \frac{0,68 \cdot 0,15}{4} = 3,34\%;$$

$$\Delta U_{ГЗ} = \frac{200}{31,7 \cdot 0,22^2} \frac{0,3 \cdot 0,05}{4} = 0,786\%;$$

$$\Delta U_{ГК} = \frac{200}{31,7 \cdot 0,22^2} \frac{0,02 \cdot 0,05}{4} = 0,033\%;$$

$$\Delta U_{ГЛ} = \frac{200}{31,7 \cdot 0,22^2} \frac{0,1 \cdot 0,05}{4} = 0,26\%.$$

Втрата напруги від точки Б до точок Г, З, К, Л складе:

$$\Delta U_{БГЗ} = \Delta U_{БГ} + \Delta U_{ГЗ} = 3,34 + 0,786 = 4,126 \%;$$

$$\Delta U_{БГК} = \Delta U_{БГ} + \Delta U_{ГК} = 3,34 + 0,033 = 3,373 \%;$$

$$\Delta U_{БГЛ} = \Delta U_{БГ} + \Delta U_{ГЛ} = 3,34 + 0,26 = 3,6 \%.$$

Показники розрахованих втрат напруги по окремих ділянках мережі зведені в табл. 5.2.

Табл. 5.2

Розрахункові втрати напруги по окремих ділянках мережі

Умовне позначення лінії	БВГ	БВЖ	БДИ	БДК	БДЕ	БДЛ	БДМ
Втрата напруги $\Delta U$ , %	7,1	9,93	4,126	3,524	3,497	3,733	3,6

Таким чином, розраховані втрати напруги не перевершують значень допустимих відхилень напруги на затисках електроприймачів. У зв'язку з тим, що при розрахунках втрат напруги був збільшений перетин лінії БГ до 4 мм<sup>2</sup>, необхідно виконати повторно розрахунки струму короткого замикання в точці К2. Визначимо активні опори фазного й нульового провідника на ділянці БГ:

$$R_{фБД} = \frac{32 \cdot 0,15}{4} = 1,2 \text{ Ом} \quad R_{0БД} = 1,2 \text{ Ом}$$

Користуючись даними розрахунків, викладеними вище (струм КЗ в точці К2), отримаємо:

$$\Sigma R_{\phi} = 0,32 + 1,2 + 0,64 = 2,16 \text{ Ом};$$

$$\Sigma R_0 = 2,16 \text{ Ом};$$

$$Z_{\phi-0} \approx \sqrt{(2,16 + 2,16)^2 + 0,02} = 4,34 \text{ Ом}.$$

Струм однофазного короткого замикання буде дорівнювати

$$I_{к.з.(1)} = \frac{380}{1,73 \cdot 4,34} = 50,7 \text{ А}.$$

Кратність струму КЗ стосовно номінального струму плавкої вставки запобіжника при збільшенні перетину лінії БД, як і слід було сподіватися зріс. Таким чином спрацювання елемента захисту (плавкий запобіжник) відбудеться більш надійно.

### **Програма роботи**

1. Ознайомитися прикладами приведеними у теоретичних відомостях.
2. У відповідності до розробленої на попередніх практичних роботах схеми електроживлення виконати розрахунок дії апаратів захисту при виникненні струму короткого замикання.
3. Виконати остаточний вибір розрахованих пристроїв за уточненими параметрами по каталогах виробників.
4. Результати проектування оформити у вигляді звіту на стандартних аркушах формату А4.

### **Контрольні запитання.**

1. Як регламентується послідовність вибору електричних апаратів і провідників за умовами виникнення короткого замикання?
2. Які умови враховують при визначенні струмів КЗ в електроустановках напругою до 1 кВ?
3. Як здійснюється визначення точок можливого виникнення КЗ?
4. Охарактеризуйте алгоритм визначення струм КЗ у розрахункових точках.
5. Як здійснюється перевірка селективності дії автоматичних вимикачів при появі розрахованого струму вище КЗ?
6. Який алгоритм визначення втрат напруги у провідниках?